Conseil d'Analyse économique

# Les risques majeurs et l'action publique

Rapport
Céline Grislain-Letrémy,
Reza Lahidji et Philippe Mongin

Compléments
Céline Grislain-Létremy, Reza Lahidji, Frédéric Ménage,
David Moucoulon, Michèle Pappalardo, Jacques Percebois,
Antoine Quantin, Philippe Saint Raymond,
Valérie Sanseverino-Godfrin, André Schmitt,
Sandrine Spaeter et Bertrand Villeneuve

La documentation Française

*Conception et réalisation graphique*
*au Conseil d'analyse économique*
*par Christine Carl*

© Direction de l'information légale et administrative. Paris, 2012 - ISBN : 978-2-11-009580-0
« En application de la loi du 11 mars 1957 (article 41) et du Code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992, toute reproduction partielle ou totale à usage collectif de la présente publication est strictement interdite sans l'autorisation expresse de l'éditeur.
Il est rappelé à cet égard que l'usage abusif de la photocopie met en danger l'équilibre économique des circuits du livre. »

# Sommaire

**Introduction** ..... 5
*Christian de Boissieu*

***RAPPORT***
**Les risques majeurs et l'action publique** ..... 7
*Céline Grislain-Letrémy, Reza Lahidji et Philippe Mongin*

*Remerciements* ..... 7

*1. Le risque en général et les risques majeurs* ..... 8
1.1. Le risque, de la pensée commune à la théorie de la décision .... 10
1.2. Le risque à la lumière de la psychologie de la décision ..... 16
1.3. Le risque vu par ses praticiens ..... 18
1.4. Les risques sociaux et les risques majeurs parmi eux ..... 23
1.5. L'aléa, les enjeux, la vulnérabilité et le prisme de l'action publique ..... 28

*2. L'exposition aux risques majeurs en France* ..... 32
2.1. L'exposition aux risques naturels en France ..... 35
2.2. L'exposition aux risques technologiques en France ..... 52
2.3. L'exposition aux risques nucléaires en France ..... 61

*3. L'action publique en matière de risques majeurs* ..... 71
3.1. Les risques naturels et technologiques : éléments d'histoire juridique et institutionnelle ..... 75
3.2. Les mesures d'évaluation et de prévention des risques majeurs .. 89
3.3. L'indemnisation des dommages et l'assurance en matière d'aléas naturels ..... 97
3.4. L'indemnisation des dommages et l'assurance en matière de risques technologiques ..... 113
3.5. L'action publique en matière de risques nucléaires ..... 116

*4. L'action publique et les risques majeurs : conclusions et préconisations* ..... 127
4.1. Introduction ..... 127
4.2. Préconisations relatives à l'évaluation des risques majeurs .... 128
4.3. Préconisations relatives à la prévention des risques majeurs .. 144
4.4. Préconisations relatives à l'indemnisation des risques majeurs 148

*Auditions* ..... 173

***COMPLÉMENTS***

**A. La modélisation des risques majeurs en réassurance avec garantie de l'État : application au régime français des catastrophes naturelles** ..... 175
*Antoine Quantin et David Moucoulon*

**B. La responsabilité pénale à l'épreuve des « accidents collectifs »** ..... 195
*Valérie Sanseverino-Godfrin*

**C. Risques, assurance et valeur foncière** ..... 211
*Céline Grislain-Létremy et Bertrand Villeneuve*

**D. Les outils de couverture des risques majeurs alternatifs à l'assurance et à la réassurance conventionnelles** ..... 227
*André Schmitt et Sandrine Spaeter*

**E. Les évolutions de la doctrine française de sûreté nucléaire** ..... 249
*Philippe Saint Raymond*

**F. L'homme probabiliste ? Prendre en compte les facteurs humains dans les études probabilistes de sûreté** ..... 267
*Frédéric Ménage*

**G. Les leçons de Fukushima** ..... 281
*Reza Lahidji*

**H. Les coûts de la filière électro nucléaire : synthèse du rapport de la Cour des comptes** ..... 301
*Michèle Pappalardo*

**I. Prolonger la durée de vie du parc nucléaire actuel : une solution raisonnable. Conclusions du rapport de la Commission « Énergies 2050 »** ..... 313
*Jacques Percebois*

***RÉSUMÉ*** ..... 333

# Introduction

C'est en tant qu'ancien Président délégué du CAE, et avec le plein accord de l'actuelle Présidente, que j'introduis ce rapport sur les risques majeurs, engagé avant le renouvellement du Conseil.

Tchernobyl, AZF, Xynthia, Fukushima, et bien d'autres drames qui viennent allonger la liste de chocs majeurs, de nature systémique et aux conséquences humaines et sociales démultipliées. Récemment, avec la crise mondiale, les économistes ont approfondi l'étude des risques systémiques de nature financière. Ici, il est question d'autres types de risques potentiellement ou effectivement systémiques, souvent évoqués parce que figurant à la une des médias, mais n'ayant pas fait l'objet d'une investigation systématique comme celle présentée dans ce travail. Le rapport définit avec précision son objet, les risques majeurs, et les regroupe en trois catégories : les risques naturels, les risques technologiques et les risques nucléaires. Une partie de l'analyse consiste justement à souligner et pondérer les spécificités et les convergences entre ces catégories mais aussi à l'intérieur de chacune.

Les enjeux humains, économiques, financiers et plus largement sociétaux sont mis en lumière. Il est éclairant de comprendre ce qui relève de l'aléa ou de la fatalité, et ce qui est anthropique car influencé par les comportements individuels et les choix collectifs. Une partie, et seulement une partie, des réponses se trouve dans la « boîte à outils » des économistes et des gestionnaires (la théorie de la décision, à approfondir, relevant de la compétence des uns et des autres), car l'approche doit être, comme dans ce rapport, résolument pluridisciplinaire.

Les différents moments des risques majeurs sont abordés : l'*ex ante*, l'*ex post*, le passage de l'un à l'autre, puis tout ce qui touche aux mécanismes de responsabilité et d'assurance. Les différentes facettes sont traitées, de façon méticuleuse et surtout très concrète. Au terme d'une analyse qui fera date et sera un passage obligé dans l'avenir pour beaucoup de chercheurs et de décideurs (publics et privés), est formulé, à l'attention des autorités nationales et européennes, un certain nombre de recommandations opérationnelles touchant aussi bien à l'évaluation (question, par exemple, de la construction d'indicateurs) qu'à la prévention et à l'indemnisation des risques majeurs.

*Christian de Boissieu*
*Ancien Président délégué du CAE*
*Professeur à l'Université de Paris I-Panthéon-Sorbonne*

# Les risques majeurs et l'action publique

**Céline Grislain-Letrémy**
*CREST et Université Paris-Dauphine*
**Reza Lahidji**
*GREGHEC, HEC Paris*
**Philippe Mongin**
*CNRS et HEC Paris*

## Remerciements

Le sujet des risques majeurs appelle une collaboration étroite de différentes spécialités, et nos efforts pour intégrer dans un même ensemble des informations techniques et socio-économiques très diverses n'auraient jamais abouti sans les nombreuses consultations extérieures dont nous avons bénéficié. Les unes ont respecté la forme des auditions qui est traditionnelle au CAE, mais d'autres se sont déroulées de manière plus impromptue, et elles n'auront pas été moins intenses et fructueuses. Ainsi, de multiples remerciements s'imposent en prélude à ce rapport. Ils vont à Maya Atig, David Azema, Nicolas Bauduceau, Geneviève Baumont, Patrick Bidan, Stéphanie Bidault, Jean Boissinot, Léonard Brudieu, Dimitri Chaillou, Éric Defretin, Philippe Diebold, Emmanuel Durousseau, Jacques Faye, Christian Gollier, Rodolphe Guillois, François Hédou, Philippe Hubert, Hervé Le Treut, Anne-Marie Levraut, Amélie Mauroux, Laurent Montador, Paul Nunn, Stéphane Pallez, Victor Peignet, Cédric Peinturier, Stéphane Pénet, Jacques Percebois, Pierre Picard, Serge Planton, Lionel Prevors, Antoine Quantin, Sandrine Robert, Francis Roux, Valérie Sanseverino-Godfrin, Sandrine Spaeter, Cees Veerman, Bertrand Villeneuve. Nos conseillers voudront bien nous pardonner d'omettre leurs titres dans une liste qui est déjà longue. Nous leur ajoutons, dans le rôle particulier qui lui revient, Philippe Trainar, auquel ses obligations professionnelles ont finalement interdit de participer à ce rapport comme il avait été d'abord prévu. Nos remerciements vont enfin, dans l'équipe permanente du CAE, à notre conseiller scientifique, Stéphane Saussier, qui nous a patiemment suivis tout au long d'une rédaction parfois cahotique, à la responsable de communication, Christine Carl, qui a mis sa longue expertise éditoriale au service de notre manuscrit, au secrétaire général Pierre Joly et aux présidents délégués Christian de Boissieu et Agnès Bénassy-Quéré, qui ont soutenu ce travail tout au long.

## 1. Le risque en général et les risques majeurs

Par risques majeurs, on entend d'ordinaire ceux qui s'attachent à des événements dont les conséquences défavorables, pour l'humanité ou pour l'environnement, revêtent une ampleur exceptionnelle. On veut dire en outre que ces événements sont en eux-mêmes d'une ampleur inaccoutumée et que, pris de manière générale, ils surviennent rarement, ce qui ajoute d'autres notes au thème général de l'exceptionnalité. Les risques majeurs peuvent être de nature civile ou militaire, et il ne sera question ici que du premier groupe. On y distingue communément les risques naturels, comme ceux d'inondation et de séisme, les risques technologiques industriels, notablement ceux d'explosion et d'émanation toxique, les risques nucléaires, traités séparément parce qu'ils mettent en jeu le phénomène particulier de la radioactivité, les risques sanitaires, chroniques ou épidémiques, les risques alimentaires, parfois rapprochés des précédents, et, depuis peu, le terrorisme, qui est sans doute à la limite des risques civils et militaires.

Les familles de risques majeurs peuvent se distinguer par les sources d'incertitude qui affectent l'événement responsable des dommages. Si l'on porte sur un axe la contribution croissante des actions humaines à l'incertitude, les risques naturels seront loin à gauche et le terrorisme loin à droite, avec les autres risques situés entre ces extrêmes. On peut aussi distinguer les cas par la difficulté plus ou moins grande qu'ils opposent à l'intervention. Il semblerait qu'elle soit maximale aux deux extrêmes, s'agissant des risques naturels parce que l'événement critique dépend de lois d'apparence inflexibles, et s'agissant du terrorisme, pour la raison opposée qu'il dépend du libre arbitre humain ; les chances de l'intervention réussie ne sont pas toujours meilleures dans l'entre-deux, qui reflète un processus de domestication inabouti de la nature par l'homme, mais elles peuvent l'être. On peut enfin se fixer sur la réponse que donne la société dans chaque cas. Les risques naturels sont depuis toujours appréhendés collectivement, et l'expérience récente a montré qu'il en allait de même du terrorisme, alors que les risques du milieu, si l'on ose dire, sont pour partie laissés à des arrangements particuliers.

Ces généralités approximatives donnent un peu de consistance aux catégories de risques majeurs, tout en faisant saisir qu'elles sont mutuellement hétérogènes. Si l'on entre maintenant à l'intérieur de chacune, la diversité perceptible s'aggrave encore, parce que chaque risque majeur se voit associer des relations causales spécifiques, qui vont de la détermination de son événement source et à celle des conséquences néfastes qui s'y enchaînent, et que des méthodes d'examen chaque fois différentes sont requises pour en traiter correctement. À cette échelle du problème, il faut emprunter à l'hydrologie pour parler d'inondations, à la géologie pour parler de séisme, au génie chimique et nucléaire pour parler d'accidents technologiques industriels, à l'épidémiologie et à la médecine pour parler de dérèglements sanitaires ou alimentaires, à la géopolitique pour parler d'actes de terrorisme. Ainsi, le sujet des risques majeurs devient immense, et il faudrait de vastes équipes interdisciplinaires pour lui donner son plein développement.

Une équipe des trois signataires seulement, qui de plus partagent une formation d'économistes, ne devait pas tenter l'impossible, et nous avons choisi de nous limiter à certains risques majeurs seulement. Il ne sera question que des trois sous-groupes nommés en premier lieu, c'est-à-dire *des risques majeurs naturels*, *technologiques industriels* et *nucléaires civils*. Les catégories restantes, et celle, qui est encore imparfaitement stabilisée, du risque climatique, apparaîtront dans le cours du rapport, mais toujours en liaison avec les trois objets principaux. Ceux-ci mêmes étaient trop larges, et nous avons dû faire d'autres choix, en nous concentrant sur *les risques présentant le maximum d'effets socio-économiques immédiats*, du moins dans le cas français qui nous occupera presque toujours : les risques d'inondation et de sécheresse géothermique, aux dépens, par exemple, de celui de séisme ; les risques suscités par les établissements industriels que l'administration répertorie comme dangereux pour leur environnement, aux dépens d'une description moins formelle du problème ; enfin, le risque d'accident dans les centrales nucléaires, par opposition aux risques d'accident liés à d'autres installations nucléaires et aux risques chroniques dus à la radioactivité.

Pour compenser une orientation disciplinaire trop homogène, nous nous sommes tournés, sous la direction bienveillante des nombreux experts que ce rapport a mobilisés, vers l'immense documentation géographique, technique et juridique constituée autour des risques majeurs pendant ces dernières décennies. On trouvera dans ce rapport du Conseil d'analyse économique (CAE) plus d'informations d'arrière-plan que dans ses prédécesseurs, à l'exception du rapport de Guesnerie (2003), *Kyoto et l'économie de l'effet de serre*, lequel a fait date dans l'histoire de l'institution. Il n'est pas indifférent que l'auteur y traitait d'une forme de risque majeur, et si nous abordons peu les transformations du climat et les effets aggravants qu'elles provoquent sur les risques naturels, voire technologiques, c'est aussi parce que nous pouvons faire fond sur son bilan et d'autres plus récents, comme celui du rapport rédigé par Stern (2009).

Le rapport s'organise suivant un mouvement qui fait aller *de l'évaluatif à l'évaluatif* en passant par de longues transitions analytiques et descriptives. Nous partirons d'une certaine conception des risques en général, et des risques majeurs en particulier, qui s'inspire de la théorie mathématique de la décision même si elle n'est pas rigoureusement commandée par elle ; c'est là une première option évaluative, mais d'ordre exclusivement général et théorique ; elle fait l'objet du reste de cette introduction. La section 2 consiste en une étude principalement descriptive, fondée sur la géographie humaine, le droit et la technologie, des trois classes de risques majeurs que le rapport étudie. Les risques naturels, qui ont reçu le maximum d'attention de la part des spécialistes, y seront plus développés que les autres. La section 3 étudie l'action publique en matière de risques majeurs, et comme celle-ci est aujourd'hui encadrée par un vaste corpus législatif et réglementaire, elle consiste pour une large part à synthétiser ce corpus. La section 3 reste d'orientation descriptive, mais comme le droit, par essence même, est

évaluatif et demande à être évalué, ses développements amorcent le dernier tournant du rapport. Il s'accomplit à la section 4, où nous consignons nos jugements sur la gravité relative des risques considérés, sur l'efficacité des dispositions législatives, réglementaires ou technologiques mises en place pour y répondre. Les recommandations concrètes s'enchaînent alors tout naturellement. Pour en faciliter la consultation, nous y consacrons les dernières pages dans une liste numérotée, à la manière classique du CAE.

La section 1 se propose de développer les concepts introductifs, au-delà de l'amorce élémentaire qui vient d'en être faite. Nous y traitons d'abord du risque en général, au niveau théorique, puis selon différentes spécialités pratiques. Nous poursuivons sur une analyse des risques sociaux et des risques majeurs, vus comme cas particulier des précédents et nous terminons en parcourant brièvement les formes de l'action publique pour affronter ce dernier groupe, ce qui achève de mettre en place les objets de ce rapport.

### 1.1. Le risque, de la pensée commune à la théorie de la décision

La notion de risque est aujourd'hui si banalement répandue qu'on peut se méprendre sur son origine. Elle ne provient pas des idées vagues du sens commun, ainsi qu'on pourrait l'imaginer, mais d'une source déterminée dans un certain savoir technique ; elle n'a pas toujours guidé la réflexion ordinaire, et l'on peut même approximativement dater son émergence et les étapes de sa diffusion. Le mot français de « risque » et ses formes verbales correspondantes ne sont attestés qu'à partir du XVI$^{e}$ siècle et ils ne s'emploient alors guère que pour parler des expéditions maritimes et des questions d'assurance qu'elles soulèvent. « Risque », au sens originel, veut donc dire « fortune de mer ». L'élargissement de sens n'a lieu qu'au XVIII$^{e}$ siècle, où il semble participer d'un intérêt nouveau pour les questions de l'aléatoire ; il n'est pas indifférent de rappeler que la notion mathématique de probabilité, si tardivement découverte, ne commence qu'à cette époque sa fascinante carrière(1). Après une éclipse partielle au XIX$^{e}$ siècle, « risque » et ses variantes s'installent dans la langue française du XX$^{e}$ siècle avec la très large diffusion qu'on leur connaît maintenant. L'évolution lexicale ne semble pas différer ailleurs en Europe, à ceci près que la langue italienne jouit de l'antériorité, avec un mot qu'on rencontre dès le XIII$^{e}$ siècle, « *risco* », devenu « *riescho* » par la suite, et qui inspirera ceux des autres langues, « risque », « *riesgo* », « *risk* », « *Risiko* ». Si l'on transpose aux idées l'histoire des mots, on dira, revenant à l'observation initiale, que la notion de risque ne procède pas du sens commun, mais lui est venue depuis une pratique spécialisée. Les praticiens du risque se sont multipliés avec le temps : les assureurs, toujours présents, se sont adjoint les mathématiciens et statisticiens à partir du XVIII$^{e}$ siècle, puis les ingénieurs,

(1) La naissance du calcul des probabilités a suscité d'innombrables recherches depuis le classique irremplaçable de Todhunter (1865). Daston (1998) offre un exemple apprécié du genre au point de vue de l'histoire des sciences contemporaine.

les économistes et les financiers à partir des XIX^e^ et XX^e^ siècles. Or ces experts nourrissent désormais leur travail des idées communes sur le risque, ce qui veut dire que la notion a parcouru une boucle entière : partie de la technique, elle y revient après s'être étendue à des sens multiples. On peut trouver qu'elle circule aujourd'hui entre des idées générales d'un vague impalpable et des précisions opératoires, mais trop restreintes. Le rappel très sommaire qui précède fait comprendre que cette ambivalence provient de la genèse même de la notion(2).

Littré définit un risque comme un « péril dans lequel entre l'idée de hasard ». C'était sans doute à peu près l'idée qu'on s'en faisait au XVIII^e^ siècle, mais le sens contemporain, plus vaste, suppose l'incertitude plus généralement que le hasard. Robert parle de « danger éventuel plus ou moins prévisible », ce qui évite la restriction, mais qui ne convient toujours pas, car le risque n'est pas identique au péril ou au danger. Ces notions qualifient un état de choses inquiétant, mais à la différence de celle de risque, elles mettent l'accent sur le phénomène producteur du dommage aux dépens du dommage et de ceux qu'il affecte : le transport de tel ou tel produit chimique est dangereux ; en transportant ce produit, on fait courir à tel ou tel un risque d'incendie, d'émanation toxique, de pollution. Ainsi, « risque » ne s'emploie pas à la place de « danger ». De même, les spécialistes anglo-saxons veillent à distinguer *hazard* et *risk*(3).

La définition de Larousse paraîtra meilleure : « événement éventuel, incertain, dont la réalisation ne dépend pas exclusivement de la volonté des parties et pouvant causer un dommage ». Le risque se dit en effet d'un événement, et à la condition que celui-ci apparaisse incertain. Pour autant, le risque ne coïncide pas avec l'incertitude. On ne parlerait pas de risque sans avoir en vue un dommage possible, alors qu'on peut parler d'incertitude sans cela. Un jeu de pile ou face qui offre 1 milliard dans un cas et 2 milliards dans l'autre est, au sens ordinaire, incertain mais non pas risqué. Il paraît contestable, en revanche, d'exclure de l'incertitude relative au risque celle qui porte sur des événements réalisables par la seule volonté des agents, mais on peut considérer qu'il s'agit là d'un cas limite et qu'une telle restriction a finalement peu de portée.

Les idées communes sur le risque importent non moins que les notions techniques, et l'une des raisons en est qu'il ne suffit pas d'employer les secondes pour échapper aux premières. En outre, tous les praticiens du risque ne disposent pas pour lui d'une notion technique. Les juristes en traitent souvent depuis que cette idée a envahi le droit, la politique et

(2) Les informations lexicales de ce paragraphe nous viennent de Pradier (1998, 2004). En deçà de l'étape italienne du Moyen-Âge, plus précisément rattachée aux ports commerçants de la péninsule, l'itinéraire du mot « risque » perd de son évidence. La plupart des érudits, et Pradier avec eux, semblent toutefois se rallier à l'origine arabe, plutôt que latine ou grecque, et cette thèse est certainement cohérente avec ce qu'on sait de l'étape italienne.

(3) Par exemple, Kaplan et Garrick (1981) dans un article classique de l'analyse du risque. Le mot *hazard* signifie tantôt le danger, tantôt l'événement ou la chose considérée comme dangereuse.

l'administration, et ils la conçoivent en suivant la pensée ordinaire même s'ils savent lui donner de la précision. Un ouvrage autorisé la définit ainsi : « éventualité d'un événement futur, incertain ou d'un terme indéterminé, ne dépendant pas exclusivement de la volonté des parties et pouvant causer la perte d'un objet ou tout autre dommage. En matière d'assurance, le terme désigne souvent l'événement lui-même contre la survenance duquel on s'assure »[4]. Par rapport aux définitions précédentes, le juriste fait un pas en constatant que le risque signifie l'éventualité ou la possibilité d'un événement, et qu'il ne signifie l'événement lui-même que par dérivation. Pour traiter du risque de naufrage par exemple, il faut se placer au point de vue *ex ante*, celui d'un observateur pour qui le naufrage n'est qu'une simple éventualité. L'autre point de vue sur le même événement, *ex post*, celui d'un observateur qui saurait à quoi s'en tenir, fait sortir de l'orbite du concept de risque. Bien que la précision conceptuelle soit bienvenue, les locuteurs ordinaires, et notamment les assureurs, se retrouvent en parlant de risque tantôt pour l'éventualité, tantôt pour l'événement, tantôt pour le dommage, tantôt même pour la chose endommagée, et cette liberté d'emploi s'explique par la figure bien connue de la métonymie.

La définition du juriste est bonne, mais il lui manque l'idée, aperçue dans l'une des définitions précédentes, que le risque est plus ou moins prévisible. En effet, on ne parle pas de risque lorsque l'incertitude est si grande qu'elle ne se prête pas à une forme minimale de réflexion ou de ratiocination. La fin de l'univers n'est pas un risque parce que tout ce qu'on peut en dire est qu'elle peut survenir. Certaines hésitations contemporaines à ranger le climat parmi les risques viennent de ce que, à l'échelle séculaire pertinente, les hausses de température et leurs effets sur la planète font l'objet de prévisions exceptionnellement incertaines. Les économistes distinguent entre deux formes de l'incertitude, l'une qui s'accompagne de risque et l'autre non, mais ils le font dans un vocabulaire singulier, parce qu'ils opposent frontalement le risque (en partie prévisible) et l'incertitude (essentiellement imprévisible). Par rapport aux idées communes, qui découpent à l'intérieur de l'incertitude, c'est une manière inadéquate de s'exprimer. On peut encore leur reprocher d'avoir identifié, dans leur notion spéciale de risque, la prévisibilité avec le recours à l'outil probabiliste ; ici l'objection déborde la sémantique pour prendre de la substance théorique, car il est désormais possible d'analyser le risque, et en ce sens au moins de le rendre prévisible, en utilisant d'autres outils que le calcul des probabilités[5].

La pensée commune du risque est spontanément *causaliste avant d'être probabiliste*. Un événement incertain se produit, par exemple une crue

(4) *Vocabulaire juridique* de Cornu (1987).

(5) On fait conventionnellement remonter à Knight (1921) la distinction économique du risque probabiliste et de l'incertitude qui ne l'est pas, mais l'auteur est plus obscur que ne l'indique cette attribution. Il n'est pas indifférent de rappeler que le traité méconnu de Keynes (1921), paru la même année que celui de Knight, amorce une critique plus précise du calcul des probabilités. La conception non probabiliste du risque n'est parvenue que récemment au stade mathématique ; voir la synthèse de Gilboa (2009).

hivernale, et, en collaboration avec d'autres événements incertains qui se sont aussi réalisés, par exemple l'effondrement d'une digue et le ruissellement consécutif à des pluies abondantes, il entraîne différents états de choses, comme l'engloutissement des infrastructures et l'inondation des immeubles jusqu'à une certaine hauteur. Par un raisonnement naturel, on cherche d'abord à évaluer les dommages associés aux états de choses terminaux, ce qui permettra de restreindre l'attention à ceux qui importent vraiment, et à partir de là, on sélectionne les enchaînements causaux à étudier. Ce n'est là que du bon sens élaboré, mais comme on en trouve aussi dans les sciences et les techniques, et certaines méthodes semi-formelles s'y rattachent directement : celles des scénarios, des arbres de défaillances, des graphes causaux. Nous donnerons un exemple de ces méthodes lorsque nous présenterons la doctrine de la sûreté nucléaire en France, qui repose directement sur elles (section 3).

Les analyses de risques menées par les ingénieurs s'arrêtent plus souvent à ce premier stade qu'on ne le supposerait. Nous parlerons dans ce cas d'une analyse *déterministe* du risque. À ce qu'il semble, un second stade ferait naturellement suite, car une fois posés des scénarios, un arbre d'événements ou de défaillances, un graphe causal, il suffirait d'ajouter des valeurs de probabilité aux emplacements convenables – scénarios, branches de l'arbre, arêtes du graphe. Nous parlerons dans ce cas d'une analyse *probabiliste* du risque. Mais toute la difficulté du second stade réside dans la disponibilité et la pertinence des valeurs de probabilité. Certains risques naturels comme celui d'inondation donnent lieu à des observations empiriques de fréquences, d'autres comme le risque de séisme, à des déductions théoriques de fréquences qui reposent sur des observations, et les valeurs ainsi obtenues sont, de l'avis général, pertinentes. Mais les risques de sécheresse géothermique, d'avalanche ou d'éruption volcanique ne se prêtent pas aussi bien à la construction de fréquences, et les risques technologiques ne s'y prêtent qu'au prix d'une modélisation très élaborée et parfois entachée d'arbitraire. Les obstacles viennent du fait que les données manquent sur les événements sources, que ces événements sont trop hétérogènes pour être mis en série, que leurs enchaînements sont trop complexes, que la théorie fait défaut pour interpréter le travail statistique, à supposer qu'on ait su le faire aboutir. On peut expliquer par ces raisons solides les réticences au probabilisme que l'on constate chez les ingénieurs, mais celles-ci proviennent aussi d'un attachement routinier au point de vue causaliste et de l'idée fausse que celle-ci exclurait le point de vue probabiliste[6].

Une dernière tendance de la pensée commune du risque appelle un commentaire détaillé. Celle-ci traite souvent par amalgame *la définition* et *l'évaluation* du risque, et à l'intérieur de l'évaluation, les aspects *objectifs* et *subjectifs*. Le dommage, pour parler de lui tout d'abord, est par définition un état de choses évalué. Le discours ordinaire comprime dans cette notion de dommage l'étape à la fois logique et causale qui fait passer

(6) Lahidji (2012) a particulièrement insisté sur cet obstacle épistémologique.

d'une conséquence objective donnée, ainsi l'inondation d'un immeuble, aux désagréments divers qui en résultent pour l'intéressé. On comprend les raisons pragmatiques de procéder ainsi, mais en toute rigueur analytique, on doit se plaindre du glissement du factuel vers l'évaluatif. L'inondation peut avoir nui fortement ou faiblement au propriétaire, et c'est une question qu'on aimerait traiter à part de celle de savoir jusqu'où elle est montée dans l'immeuble et quelle surface elle y recouvrait. Comme le savent bien les assureurs, on peut y répondre de deux manières, en procédant à une estimation réputée objective du préjudice, à la suite d'une expertise directe, ou en s'en remettant à l'estimation subjective de l'intéressé. Ce sont là des distinctions évidentes au sens commun, mais il ne les met en œuvre que si elles présentent un intérêt pratique, ce qui veut dire qu'il les télescope souvent.

Il faut traiter à part les cas où le dommage est de nature psychologique, car il est alors structurellement difficile de séparer la conséquence et son évaluation subjective. La catastrophe industrielle de l'usine AZF en 2001, dont il sera souvent question dans ce rapport, a relancé en France les d'études de santé publique visant à tester les conséquences psychologiques des accidents majeurs. La méthode revient à suivre, pour une cohorte de volontaires assez nombreuse, la consommation de psychotropes et d'autres indicateurs d'un état de stress post-traumatique (ESPT), puis à chercher à corréler le niveau de ces indicateurs avec le degré d'exposition des individus à l'accident. Une méthode comme celle-ci sépare imparfaitement le fait qui importe (la présence ou non d'ESPT) des évaluations que les sujets en font (toutes les informations sont déclaratives, certaines portent directement sur l'état de santé psychique et ceux qui s'expriment sont de toute manière autosélectionnés). Mais en fait, il n'y a pas moyen de réaliser complètement la séparation dans un cas pareil ; on est loin de l'exemple de l'inondation, où elle est facile à réaliser dans le principe[7].

L'évaluation du risque dépend aussi de la vraisemblance des événements, mesurée ou non par une probabilité numérique, et suivant la nature des informations utilisées, cette attribution peut être de nature objective, subjective ou intermédiaire. Enfin, l'évaluation du risque suppose d'équilibrer les vraisemblances avec les conséquences évaluées, et cette opération doit être encore située par rapport à la distinction du subjectif et de l'objectif. Or la pensée commune du risque joue de cette distinction avec désinvolture. Les concepts de psychologie morale qu'elle emploie volontiers donnent à penser que tout dépendrait des subjectivités particulières : les optimistes accordent plus de vraisemblance aux événements favorables que les pessimistes, les audacieux sont plus enclins que les prudents à troquer de la vraisemblance

(7) Voir les publications successives de l'Institut de veille sanitaire sur la cohorte AZF : http://www.invs.sante.fr/surveillance/azf/default.htm

La méthode mise au point par l'Institut lui sert désormais à étudier les séquelles psychologiques d'autres accidents, comme les inondations. Les études centrées sur les effets psychologiques des catastrophes ont en fait une assez longue histoire, aux États-Unis notamment ; voir Bromet et Dew (1995).

contre des résultats favorables. Mais d'un autre côté, la même pensée commune est souvent objectivante. Elle déclare certains risques insignifiants, acceptables, excessifs, inadmissibles. Les débats publics sur les catastrophes véhiculent cette terminologie autoritaire ; il ne s'agit plus alors de laisser différer les optimistes et les pessimistes, les prudents et les audacieux, et les questions soulevées par le risque appelleraient censément des réponses exclusives, donc objectives.

La discipline mathématisée qu'on appelle *théorie de la décision* n'est à certains égards qu'une formalisation des idées ordinaires sur le risque et l'incertitude[8]. Toutefois, à d'autres égards, elle améliore ces idées, et en particulier, elle veille à séparer mieux les aspects factuels et évaluatifs, objectifs et subjectifs, que celles-ci amalgament. En premier lieu, la théorie procède à une distinction claire des *événements du monde extérieur*, des *actions du sujet*, des *conséquences dans le monde* que les actions provoquent en présence des événements[9]. En second lieu, sur ce fond de données strictement objectives, elle fait intervenir les évaluations suivantes :

- l'évaluation des événements, toujours confiée à des probabilités dans la théorie classique de la décision ; ces probabilités peuvent être objectives (mesurer des chances) ou être subjectives (mesurer des croyances), ce qui détermine la nature de l'évaluation (objective dans un cas, subjective dans l'autre) ;
- l'évaluation des conséquences, confiée à la fonction d'utilité dans toutes les formes, classiques ou non, de la théorie ; cette évaluation est par nature subjective ;
- le critère lui-même évaluatif qui permet de synthétiser ou d'agréger les deux évaluations précédentes en une évaluation globale portant sur l'action du sujet ; l'évaluation dont il s'agit n'est ni objective, ni subjective, mais s'apparente à une norme de rationalité ; dans le cas de la théorie classique, le critère est celui de l'espérance d'utilité, pris sous une forme ou sous une autre.

Avec cet appareillage, la théorie de la décision peut définir le risque et elle le fait en le distinguant soigneusement de *l'attitude par rapport au risque*. On peut voir dans cette séparation des idées l'un de ses apports les plus substantiels. Dans la théorie classique, elle se présente avec une simplicité maximale : le risque s'y définit à partir de la fonction de probabilité seulement, alors que les attitudes par rapport au risque se lisent sur la fonction d'utilité uniquement (sur ses propriétés de courbure, concave ou convexe). À chaque notion correspond donc un type d'évaluation (1 et 2 respectivement). Le risque apparaît donc comme *une simple notion probabiliste*, objective ou subjective, suivant la nature elle-même objective ou subjective des probabilités dont on se sert. L'attitude par rapport au risque,

(8) Cette thèse est reprise et nuancée par Mongin (2011).

(9) Ce sont les concepts de base chez Savage (1972). En toute rigueur, il faut ajouter les états du monde qui composent les événements.

qui peut être d'attirance ou d'aversion, est en revanche donnée comme *purement subjective et psychologique*, à l'instar de la fonction d'utilité qui l'incorpore. La théorie de la décision récente a compliqué ce dispositif, mais en dépit des objections, il continue à rendre de nombreux services en théorie de l'assurance, en finance, en économie générale[10]. Dans ce rapport, il ne servira pas dans le détail mathématique, mais seulement à fixer un paradigme conceptuel, celui qui sépare deux aspects fondamentaux du risque.

### 1.2. Le risque à la lumière de la psychologie de la décision

Une fois accepté le paradigme précédent, il devient possible d'étudier comme un objet distinct la *perception du risque*, puisqu'on dispose alors d'une référence extérieure à laquelle comparer les jugements des sujets. De fait, la psychologie empirique tient la plupart du temps pour acquise la conception du risque par les probabilités et de son traitement par la statistique, et elle caractérise par des écarts à cette norme – des « biais » – ce qui singularise la perception subjective[11]. Comme ce rapport ne traite que des risques majeurs, nous ne retiendrons que des régularités psychologiques susceptibles de s'y rapporter. En voici un échantillon sommaire :

- même lorsque les sujets raisonnent en termes probabilistes, ils manifestent des écarts considérables aux fréquences empiriques, y compris s'agissant d'événements qu'ils ont expérimentés et qui entrent dans leur champ de préoccupation. Les écarts peuvent affecter l'ensemble de la fonction de probabilité, mais ils sont plus considérables pour les petites valeurs, en particulier celles des événements extrêmes, comme les catastrophes naturelles ou technologiques ;
- les écarts aux fréquences disponibles semblent provenir tantôt d'une difficulté à mobiliser l'information, tantôt d'un traitement statistique défectueux une fois qu'elle est mobilisée, tantôt de ces deux facteurs à la fois. Le dernier envisagé ouvre le chapitre des échecs du calcul des probabilités. Quand ils sont au fait des réalisations d'un événement incertain, les sujets tendent à en surévaluer la valeur informative en tirant des conséquences trop précises à partir d'échantillons insuffisants ou en sous-évaluant le rôle des probabilités *a priori* (c'est-à-dire définies antérieurement aux réalisations). Ainsi, la survenue des catastrophes encourage sur le moment l'anticipation de leur retour prochain. Si de nouvelles catastrophes ne surviennent pas de quelque temps, la même raison psychologique tend à faire disparaître l'anticipation. Ce cycle de pessimisme et d'optimisme

(10) Ce dispositif classique remonte à von Neumann et Morgenstern (1947) et il a été développé abondamment par les économistes ultérieurs ; voir la synthèse de Gollier (1999). Les objections, maintenant classiques aussi, sont résumées chez Cohen et Tallon (2000) ; voir Wakker (2010) pour un développement avancé.

(11) Voir notamment Kahneman, Slovic et Tversky (1982), Kahneman et Tversky (2000) et Slovic (2000).

exagérés peut connaître des exceptions, mais jamais dans le sens d'une conformité aux fréquences[12] ;

- les estimations probabilistes des sujets s'accompagnent d'une mauvaise appréciation de l'incertitude propre à ces estimations, et cela presque toujours dans le même sens, c'est-à-dire qu'ils leur attribuent une précision statistique exagérée (ce qui revient à un excès de confiance en eux-mêmes) ;
- les difficultés cognitives propres au raisonnement probabiliste et statistique apparaissent surdéterminées par des affects dont le rôle s'accroît avec la gravité des conséquences. Quand le risque attribue une valeur de probabilité faible à un événement catastrophique, l'évocation de celui-ci domine l'attention du sujet au détriment de l'estimation probabiliste. On trouve aussi que le *wishful thinking* transforme parfois les perceptions et que les biais de cadrage, classiques en psychologie cognitive, sont particulièrement influents[13] ;
- les écarts précédents se manifestent non seulement à propos de sujets non prévenus, mais aussi relativement aux experts du risque, alors même que les estimations produites diffèrent presque toujours entre les deux groupes. Beaucoup d'experts s'avèrent mal calibrés[14], tendent à surpondérer l'information courante, se montrent trop sûrs de leurs estimations et se laissent influencer par la coloration affective des conséquences.

Ce qui vient d'être dit concerne la *définition* du risque, telle que les sujets y procèdent. D'autres généralités portent sur *l'évaluation* qu'ils en font, et comme une référence théorique est à nouveau nécessaire, c'est le modèle de l'espérance d'utilité qui en joue normalement le rôle. L'observateur constate les évaluations en recueillant l'expression verbale des préférences ou, plus couramment, en observant des choix qu'il juge représentatifs de ces préférences. Ces écarts d'un autre genre que les précédents ne sont pas moins nombreux et documentés, et ils ont donné lieu à une littérature théorique avancée. Nous n'en retiendrons que deux généralités parmi toutes celles qui ont été produites :

- les sujets n'arbitrent pas entre la probabilité des événements et l'utilité des conséquences à l'aide d'un critère uniforme. En particulier, des valeurs de probabilité proches de 0 ou de 1, et des valeurs d'uti-

(12) Le cycle inverse peut se présenter, en vertu de l'idée fausse, répandue chez les joueurs de casino, que le hasard répartit dans le temps les événements rares : une longue séquence de réalisations normales appellerait une réalisation exceptionnelle et, réciproquement, une réalisation exceptionnelle ferait attendre une nouvelle suite de réalisations normales.

(13) Un biais de cadrage (*framing effect*) survient lorsque la manière dont un expérimentateur décrit un état de choses au sujet modifie les réponses que celui-ci donne.

(14) On dit qu'un expert est *calibré* si les estimations probabilistes qu'il donne d'un événement dans différentes circonstances sont, prises en moyenne, égales à la proportion des circonstances où l'événement s'est réalisé.

lité proches de la plus haute ou de la plus faible, suscitent des modalités d'arbitrages spécifiques, éloignées de celles qui s'appliquent aux valeurs numériques intermédiaires (et pour celles-ci, l'espérance d'utilité peut devenir une approximation tolérable)[15] ;

- les sujets distinguent les risques entre eux selon qu'ils les prennent ou qu'ils les subissent, alors que cette distinction s'efface de la théorie de la décision, classique ou non, en vertu du principe voulant que les conséquences finales importent seules, quel que soit le chemin pour y parvenir. Or les évaluations recueillies par l'expérimentateur manifestent des arbitrages différenciés suivant les deux classes ; en substance, l'aversion pour le risque est moindre dans le cas d'un risque pris par le sujet ou vu comme tel, que dans le cas d'un risque subi par lui ou vu comme tel[16].

Les spécialistes des catastrophes naturelles ont depuis longtemps montré que la sous-assurance était de règle en ce qui les concerne, et les meilleures explications de ce phénomène résident dans l'effet combiné de plusieurs des généralités précédentes. Les inondations que les cyclones provoquent aux États-Unis constituent l'un des exemples les plus probants[17]. La sous-assurance existe aussi en matière de risques technologiques industriels, et quoique les psychologues n'aient pas approfondi au même degré cette classe de risques, l'impression est que les mêmes généralités y seraient à l'œuvre. On constate aussi facilement que les événements réalisés modifient l'appréhension des risques majeurs comme ce qui précède le laisserait attendre : la surévaluation instantanée fait ensuite place à une sous-évaluation chronique. Les enquêtes sur le risque nucléaire sont transparentes à cet égard[18]. S'il est vrai que l'opinion publique et même les experts sont à la traîne des faits, en revanche, les transformations législatives et réglementaires offrent une image plus complexe, tout autant liée à la dynamique interne du droit qu'à l'influence des chocs extérieurs (la section 3 le montrera). Parmi bien d'autres applications probantes, la sous-estimation non pas des probabilités elles-mêmes, mais de l'incertitude qui les entoure, s'est péniblement vérifiée à l'occasion du principal accident nucléaire récent, celui de Fukushima[19].

### 1.3. Le risque vu par ses praticiens

Les ingénieurs du traitement des risques forment le premier groupe de praticiens dont nous aurons à tenir compte. La discipline intitulée *analyse du risque* (*risk analysis*) est véritablement leur création, et même si elle

(15) Voir Abdellaoui et Munier (2001).

(16) Voir Slovic (2000).

(17) Les études ont rebondi après le cyclone Katrina de 2005. Kunreuther et Michel-Kerjan (2011 et 2012) en tirent des conclusions pratiques sur lesquelles nous reviendrons.

(18) Voir, par exemple, van der Pligt (1993).

(19) Lahidji (2012) met ce point en valeur.

en est venue à faire place à l'analyse économique et à la sociologie des organisations, elle repose encore principalement sur les notions qu'ils ont introduites. Ils conçoivent le risque à partir d'une double donnée, celle d'une valeur de probabilité pour l'événement dommageable et celle d'une mesure de la conséquence physique liée à cet événement. Certains ajoutent qu'il faut combiner *multiplicativement* les deux nombres, ce qui revient à postuler que le risque s'évalue par l'espérance mathématique de la mesure de la conséquence(20). Mais la tendance dominante, aujourd'hui, est de ne pas imposer à l'avance de critère d'arbitrage, ce qui rejoint le principe général de la théorie de décision voulant que la définition du risque soit tenue distincte de son évaluation(21). Par ailleurs, si certains ingénieurs se contentent d'une seule double donnée pour définir un risque, d'autres, plus exigeants, demandent une liste entière de doubles données pour cela. La première conception a longtemps dominé l'analyse du risque avant que la seconde ne l'englobe, et elle se rencontre encore dans les présentations didactiques.

Soit, par exemple, le risque sismique d'un lieu X donné. Il est déterminé par l'accélération maximale que le sol subira en X au cours d'une période de référence et par les chances que la théorie et les observations combinées permettent d'attacher à cette valeur. Par exemple, en fixant la période de référence aux cinquante prochaines années, on associera 5 % de chances à une accélération de 0,5 g (ou 5 $m/s^2$), 20 % de chances à une accélération de 0,1 g, 30 % de chances à une accélération de 0,05 g, et ainsi de suite. En interpolant, on obtient une courbe entière, qui relie des valeurs de probabilité (ici des chances objectives) à d'autres valeurs numériques, choisies pour mesurer les conséquences dommageables de l'événement incertain (ici le séisme, qui n'est pas étudié directement). C'est par cette courbe que le sismologue définit le risque de tremblement de terre. Elle présente une propriété de décroissance : *plus grande est la conséquence, plus petite est la probabilité*. D'innombrables disciplines appliquées procèdent aujourd'hui de la même manière. Elles trouvent le plus souvent des courbes décroissantes, et l'on peut donc voir dans cette forme une généralité approximative des risques majeurs.

Quoiqu'elle paraisse élémentaire, la définition du risque illustrée par cet exemple aura cheminé lentement et non sans confusion de pensée. On la fait d'habitude remonter aux travaux des années soixante-dix sur l'industrie nucléaire, et plus spécialement à une étude américaine de sûreté nucléaire en 1975, dite RSS (*Reactor Safety Study*) ou WASH 1400. Il est aussi d'usage de saluer un premier essai par l'ingénieur britannique Farmer, qui exposa en 1967 une courbe entière pour représenter un risque : les abscisses représentaient des doses de radioactives mesurées en curies et

(20) La somme constituée par l'espérance ne comporte qu'un seul terme parce que l'autre est implicitement fixé à zéro : c'est la valeur du statu quo multipliée par la probabilité complémentaire de celle de l'événement.

(21) Kaplan et Garrick (1981) recommandaient déjà de remplacer la formule convenue « risk is *probability* times *consequence* » par « *risk is probability* and *consequence* ».

les ordonnées les années de fonctionnement des réacteurs nécessaires pour que ces doses se réalisent (il suffit donc d'inverser les valeurs pour obtenir des probabilités d'occurrence annuelles). De cette origine lointaine vient l'expression de *courbe de Farmer*, appliquée par la suite à des courbes très diverses[22]. Cependant, Farmer et les rédacteurs de WASH 1400 visaient à définir des niveaux de risque socialement acceptables, et leurs propres courbes avaient donc un usage normatif. Ce n'est que par la suite que des courbes du même genre ont rempli un rôle purement factuel, comme il en va dans notre exemple sismologique simplifié[23].

Il convient aussi de distinguer la courbe initiale, qui met en relation des valeurs de probabilité considérées une à une avec les valeurs du phénomène physique, et *la courbe de répartition associée*, qui met en relation des probabilités cumulatives avec les mêmes valeurs physiques. Les ingénieurs du risque cumulent les probabilités à l'envers de la méthode courante : ils les définissent d'après la condition qu'un certain niveau du phénomène soit dépassé[24]. Le résultat est une courbe décroissante qui ressemble à celle dont on est parti, ce qui encourage la confusion, y compris chez les ingénieurs. L'étude WASH 1400 semble à l'origine de l'emploi, très répandu depuis, des courbes de répartition pour le risque. Une telle représentation convient heuristiquement, parce qu'elle met en évidence les chances d'accident, mais il faut bien voir qu'elle fait perdre de l'information. En effet, les courbes de répartition sont décroissantes par construction même, alors que la décroissance des courbes de Farmer est un fait empirique des risques majeurs ; c'est bien l'observation qui témoigne ici, et non pas le raisonnement mathématique seul.

Les économistes, ces autres praticiens du risque, l'abordent avec des outils mathématiques à première vue différents de ceux des ingénieurs, mais en réalité compatibles et potentiellement utiles pour les perfectionner, car ils se placent à un niveau d'explicitation théorique supérieur. Partant d'une définition du risque par une variable aléatoire quelconque, discrète ou continue, aux valeurs de probabilité décroissantes ou non avec le phénomène considéré, ils introduisent des critères de comparaison binaire. Une variable aléatoire est dite plus risquée qu'une autre ayant la même moyenne si elle met plus de probabilité sur les valeurs extrêmes du phénomène, et ce critère naturel (on parle de *dominance stochastique*) a trouvé un fondement indirect dans la théorie de la décision. La découverte de ce lien l'a renforcé dans l'esprit des économistes, en leur faisant abandonner le procédé

(22) Foasso (2003) fait l'historique de ces premiers travaux d'ingénieur ; voir aussi la synthèse de Haynes (1999).

(23) Les courbes publiées par Starr (1969), qui ont eu un vif retentissement, sont encore des courbes d'acceptabilité sociale, et non pas de risque en un sens descriptif.

(24) L'article de Kaplan et Garrick (1981) a diffusé cette représentation, parfois nommée aujourd'hui *exceedance probability curve*. Il s'agit mathématiquement d'une fonction de répartition (ou distribution) *décumulative*. La pratique ordinaire en calcul des probabilités avantage la fonction de répartition cumulative : on prend les sommes de probabilité garantissant qu'un certain niveau de la variable aléatoire ne soit pas dépassé.

ancien – cependant toujours employé par les statisticiens et les financiers – de la comparaison numérique des variances[25]. Les ingénieurs s'avèrent finalement proches des économistes, car lorsqu'ils doivent comparer deux risques entre eux, ils commencent par recourir implicitement au critère de la dominance stochastique[26].

Quant à ces autres grands praticiens que sont les juristes, il faut admettre qu'ils se contentent de raffiner la pensée commune du risque, et la définition que nous avons citée plus haut en était le clair témoignage. Cependant, les définitions techniques ont parfois cheminé jusqu'aux documents législatifs et, plus encore, réglementaires. Il semblerait que les systèmes de *common law*, comme au Royaume-Uni et aux États-Unis, soient plus perméables au calcul des probabilités et à ses développements que les systèmes de droit écrit, comme en France. Peut-être parce que l'influence des premiers grandit aux dépens de celle des seconds, le droit européen fait aujourd'hui place, du moins en matière de risque technologique industriel, à des notions que ne renieraient pas les ingénieurs. Par son intermédiaire, le droit français évolue à son tour. Comme ces transformations juridiques importent pour ce rapport, nous les détaillerons quelque peu maintenant.

Le droit français des risques technologiques a introduit d'assez longue date l'obligation pour certains industriels de préparer une *étude de dangers*. Les installations visées entrent dans la catégorie des *installations classées pour la protection de l'environnement* (ICPE), et plus précisément de celles que la puissance publique juge les plus dangereuses et choisit donc de soumettre à autorisation préalable. Le concept juridique d'ICPE domine en droit français des risques technologiques industriels majeurs, et nous y reviendrons longuement aux sections 2 et 3. L'étude de dangers, qui nous occupe seule dans cette section, est une des pièces justificatives requises pour introduire une demande d'autorisation, et elle remonte à un décret de 1977. Elle y est définie comme une « étude exposant les dangers que peut présenter l'installation en cas d'accident et justifiant les mesures propres à en réduire la probabilité et les effets »[27]. Si le mot de probabilité figure expressément, c'est au sens intuitif de « vraisemblance », et sans aucune idée de liaison fonctionnelle avec l'événement ou le dommage qu'il cause. Le décret, où le mot « risque » n'apparaît pas, est empreint d'une conception déterministe des accidents et de leurs dangers.

(25) Il n'y pas de doute que la variance (moyenne des écarts à la moyenne portés au carré) fournisse une mesure de *variabilité*, mais cette notion ne correspond pas en tout point à celle de risque ; c'est la leçon peut-être inattendue qui résulte de la théorie de la décision (voir Rothschild et Stiglitz, 1970).

(26) Certaines notions développées spécialement pour la finance auront moins nettement leur place en ingénierie du risque (par exemple, celle de *valeur sous risque*, laquelle importe en revanche aux assureurs).

(27) Décret n° 77-1133 du 21/09/1977 pris pour l'application de la loi n° 76-663 relative aux ICPE. L'étude de danger y est séparée de l'étude d'impact, requise aussi, qui concerne les effets du fonctionnement normal de l'activité industrielle, et qui porte en outre spécifiquement sur l'environnement extérieur de l'installation. Les références qui manquent pour les textes juridiques de ce passage figurent à la section 3.

La première directive européenne, dite Seveso, qui ait tenté en 1982 de réglementer le risque industriel majeur, est proche du décret que nous venons de commenter, mais les idées changent à Bruxelles avec la deuxième directive, dite Seveso II, en 1996. Celle-ci utilise la notion de risque en la définissant comme « la probabilité qu'un effet spécifique se produise dans une période donnée ou dans des circonstances déterminées ». Elle s'en sert non pas dans l'énoncé des principes, mais dans une annexe technique, où l'exploitant se voit exiger une « analyse des risques d'accident », prenant la forme de « scénarios d'accidents » qui s'accompagnent de « probabilités ou conditions d'occurrence ». Un arbre d'événements probabilisé conviendrait à une telle description.

Les textes réglementaires qui ont transposé la directive Seveso II au droit interne sont allés plus loin qu'elle dans la précision technique sur les risques majeurs. Le premier d'entre eux, un arrêté de 2000, a été modifié par touches successives au point de redéfinir entièrement l'étude de dangers. Dans sa version actuelle, l'arrêté la transforme en un simple résumé synthétique de l'analyse de risques, donnée maintenant comme primordiale ; celle-ci est définie à la manière précise de Seveso II. Par une adjonction remarquable à la directive, l'arrêté demande à l'exploitant de placer les accidents potentiels sur une grille de probabilité et de gravité (voir tableau 1). Celle-ci croise cinq niveaux de probabilité, notés de A à E, et cinq niveaux de gravité – modéré, sérieux, important, catastrophique et désastreux. Si elle n'est pas requise, la quantification des niveaux n'est pas exclue pour autant, et un autre arrêté de référence, en 2005, apporte des indications savantes à cet égard[28]. En bref, la réglementation française est en train d'opérer un tournant marqué vers la technique ; c'est au point qu'il lui arrive de renvoyer à des méthodes d'ingénierie non décrites[29].

On concédera qu'il s'agit de textes d'application de bas niveau, et non pas de décrets ; *a fortiori*, les textes de lois utilisent des notions plus traditionnelles. Néanmoins, celles de risque et même de probabilité entendue au sens fonctionnel sont désormais présentes à tous les étages du corpus juridique français. Un autre indice du changement est le niveau technique élevé des rapports préparatoires soumis désormais à l'Assemblée nationale et au Sénat.

(28) Arrêté du 29/09/2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation. Ce document autorise l'emploi de probabilités « qualitatives, semi-quantitatives, quantitatives » et propose des ordres de grandeurs pour le dernier cas.

(29) De la manière la plus curieuse, une circulaire du 10/05/2000 affirme que « l'analyse des risques des installations… nécessite l'utilisation de méthodes systémiques (HAZOP, AMDEC, what-if, arbres de défaillances, par exemple) ».

De ce tour d'horizon, nous pouvons retenir la généralité que les praticiens du risque tendent à rapprocher leurs conceptions et que les méthodes savantes, fondées sur le calcul des probabilités ou sur des moyens qualitatifs ou semi-quantitatifs, sont en passe de devenir universelles parmi eux. Cette observation nous facilitera par la suite le traitement analytique des risques et la confrontation avec les travaux d'expertise. Mais il nous reste à introduire la notion de risque majeur spécifiquement. Nous l'aborderons par un détour, qui consiste à préciser ce qu'est un risque social.

**1. Grille de présentation des accidents potentiels en termes de couple probabilité/gravité des conséquences sur les personnes**

| Gravité des conséquences sur les personnes exposées au risque | Probabilité d'occurrence (sens croissant de E vers A) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | E | D | C | B | A |
| Désastreux | | | | | |
| Catastrophique | | | | | |
| Important | | | | | |
| Sérieux | | | | | |
| Modéré | | | | | |

*Note* : Probabilité et gravité sont évaluées conformément à l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005 (annexe III) relatif à l'« évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiel dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation ».

*Source* : Arrêté du 10 mai 2000 (version actuelle modifiée).

## 1.4. Les risques sociaux et les risques majeurs parmi eux

La notion de risque social circule beaucoup aujourd'hui, mais avec des interprétations multiples que ses utilisateurs – les sociologues notamment – ne s'efforcent pas toujours de séparer, et il faut commencer par y mettre de l'ordre. L'interprétation la plus naturelle fait porter le caractère social sur les *conséquences dommageables*, indépendamment de ce que sont les événements qui les causent. On parlera donc de risque social lorsque la réalisation de l'événement incertain, ou plus généralement de la classe pertinente d'événements incertains, a des conséquences négatives appréciables sur la société. Le critère immédiat est celui du nombre de personnes touchées, mais il faut certainement le pondérer par la gravité des dommages matériels. Pour prendre comme exemples deux risques sanitaires, on opposera, d'une part, les affections respiratoires dues aux événements de pollution atmosphérique, d'autre part, les maladies suscitées par l'exposition professionnelle à l'amiante. Dans un cas, l'effectif de personnes touchées est considérable, mais les atteintes à la santé sont diffuses, bien qu'elles ne soient pas négligeables, sans quoi on ne parlerait pas du tout de *risque*, et dans l'autre cas,

l'effectif est faible, quoique non négligeable, sans quoi on ne parlerait pas de risque *social*, mais le dommage est bien défini et grave en moyenne.

Pour rester dans l'ordre médical, une autre polarité s'impose à l'attention, celle des maladies chroniques, dont les manifestations sont lentes à survenir et tendent à s'installer durablement, et des maladies aiguës, dont les manifestations surviennent immédiatement et intensément, pour disparaître ensuite ou non. On retrouve un découpage voisin dans le vocabulaire administratif français lorsqu'il oppose des risques sociaux *chroniques et accidentels*(30). Dans le premier type, les conséquences observables sur les individus ne se manifestent qu'au bout d'un certain temps, et dans l'autre type, elles se réalisent en une fois. Si l'on croise au précédent ce nouveau découpage, on obtient une grille d'analyse pour les risques sociaux. Nous l'appliquons par avance aux trois classes de risques dont traite le rapport :

- en France du moins, les risques naturels sont à dominante accidentelle. Les sécheresses, les mouvements de terrain progressifs, les remontées de nappe illustrent le type chronique minoritaire. En outre, les risques naturels affectent les petits nombres avec de grandes conséquences plus souvent que les grands nombres avec de petites conséquences. D'un côté de ce spectre, on trouve le risque d'inondation, et de l'autre, le risque de sécheresse géothermique (voir la section 2 pour les précisions explicatives) ;
- en France et ailleurs, les risques technologiques industriels couvrent tout le spectre de l'accidentel et du chronique – les risques d'explosion et ceux d'émanations toxiques à faibles doses illustrent deux extrêmes – et ils impliquent aussi tout le spectre de combinaisons entre les effectifs et la gravité. Dans les faits, le type chronique du risque technologique industriel se ramène à un risque sanitaire (voir les sections 2 et 3 pour d'autres développements) ;
- en France, les risques nucléaires parcourent aussi les deux spectres si on les considère en totalité, et ils deviennent des risques accidentels impliquant des effectifs variables avec de grandes conséquences lorsqu'on s'attache plus spécialement aux centrales, comme ce sera le cas ici (les sections 2 et 3 apportent les précisions.)

Nous n'avons rien dit encore de la manière dont s'appréciaient les conséquences des événements dommageables sur les individus. Outre les deux considérations évidentes de l'atteinte à la santé ou à la vie et de l'atteinte aux biens, on doit inclure, dans une conception proprement sociale du risque, les pertes économiques induites par l'interruption d'activité ou par l'impossibilité de la mener normalement, et il faut en même temps considérer les agents économiques autres que les individus, c'est-à-dire les entreprises

(30) Créé en 1990 pour unifier l'étude et la prévention des risques technologiques et de certains risques naturels, l'Institut national de l'environnement national et des risques (INERIS) sépare ses activités en cinq directions, dont une pour les risques chroniques et une autre pour les risques accidentels.

et les administrations, en se gardant alors comme il convient des doubles comptages. À cet égard, les risques naturels font l'objet de travaux plus poussés que les risques technologiques industriels ou que le risque nucléaire. Ainsi le cyclone Katrina et les inondations de Louisiane ont donné lieu à une estimation d'effets induits qui fait appel aux tableaux *inputs-outputs*[31]. Ce travail s'inscrit dans une littérature internationale en croissance rapide, qui applique différentes méthodes, dont l'économétrie et la modélisation macroéconomique, pour estimer les coûts indirects des catastrophes[32]. En France, la tempête Xynthia s'est prêtée à des analyses de coûts qui font une certaine part aux effets induits (voir la suite de ce rapport)[33]. Une généralité qui se dégage de ces travaux est que les coûts socio-économiques indirects croissent beaucoup plus vite que les coûts directs, tels que les assureurs et réassureurs permettent normalement de les constater[34].

Suivant ce qui précède, un risque est social lorsque les conséquences ont de l'ampleur sociale. On peut prendre un point de vue complémentaire et privilégier *l'événement incertain et sa causalité antérieure*. On dira qu'un risque est social si l'événement ou la classe d'événements associés (il peut y en avoir plusieurs) ont eux-mêmes ce caractère, soit qu'ils constituent des phénomènes sociaux, soit qu'ils résultent plus ou moins directement de tels phénomènes. Il est pertinent de distinguer, en transposant une vieille distinction logique, les états sociaux *collectifs* et *distributifs*. Dans la première catégorie, on mettra, par exemple, une panique dans une foule ou le passage d'une cordée sur une plaque d'avalanche ; l'accident qui s'ensuit dépend de l'action causale du groupe entier sans qu'on puisse la décomposer entre ses membres. Le second groupe s'illustre par l'explosion d'une maladie contagieuse, à laquelle chaque malade contribue de manière individuelle en transmettant l'agent pathogène. Par une extension de langage récente, le mot « épidémie » en est venu à désigner des états de la santé publique où la contagion ne joue aucun rôle, comme la diffusion à grande échelle des maladies cardio-vasculaires ou de l'obésité. Ce qui rattache ces exemples à ceux d'épidémie au sens habituel est, précisément, leur caractère distributif et non pas collectif : même si on ne s'intéresse qu'à l'effet global, ils ne se comprennent qu'à partir des actions causales séparées des individus multiples. Le caractère social vaut alors pour une classe entière d'événements individuels et non pour un événement collectif unique.

(31) Chez Hallegatte (2008). Sa méthode vise spécifiquement à estimer les dommages indirects.

(32) Voir Freeman et *al*. (2002), Mechler et al. (2006) et Vigdor (2008).

(33) On comparera l'estimation maintenant disponible de la Cour des comptes (2012) avec celles données antérieurement par Grislain-Letrémy et Peinturier (2012).

(34) Hallegatte (2008) estime les coûts totaux de Katrina en Louisiane à 1,5 fois les coûts directs (précisément 149 milliards de dollars au lieu de 107 milliards). Sa méthode permet d'extrapoler aux catastrophes naturelles hypothétiques survenant dans le même lieu et elle prévoit un facteur 2 à partir d'un niveau élevé de coûts directs (autour de 200 milliards de dollars).

Muni de cette analyse, on tiendra pour sociaux certains risques définis comme individuels, au sens précédent des conséquences. Les risques de dépression ou de suicide liés au stress professionnel illustrent le glissement de catégorie. Il semblerait toutefois qu'il ne soit pas ordinaire, car la nature sociale des événements va en général de pair avec celle des effets qu'ils produisent. Pour s'en convaincre, il faut garder en tête que la causalité sociale peut sauter des intermédiaires, et que ce cas de figure est même caractéristique : il apparaît dans tous les exemples où *un risque naturel s'avère déterminé par des actions anthropiques antérieure*s. Les inondations peuvent résulter de mesures de prévention mal comprises, le recul du trait de côte est souvent dû aux aménagements touristiques, les incendies de zones forestières se développent à la mesure de leur urbanisation. Ces exemples montrent que l'événement dit naturel peut être aussi vu comme social, en tant qu'il est, pour partie au moins, imputable à des phénomènes sociaux antérieurs, et sans surprise aucune, le caractère social d'origine réapparaît dans les conséquences finales de l'événement.

Suivant une autre thèse encore, la bonne définition du risque social ne se rapporte ni aux conséquences, ni à l'événement pris en eux-mêmes, mais au risque vu globalement, et elle repose sur *la prise en charge collective du risque*. D'après ce critère, une maladie ou un accident quelconque donnerait lieu à un risque social dès lors qu'une assurance le couvrirait. Cette observation illustre déjà la force expansionniste du critère. Au demeurant, l'assurance, publique ou privée, n'est qu'un mode possible de la prise en charge collective, celle-ci peut consister en une réparation directe *ex post* en l'absence de toute disposition prévue *ex ante*, et le critère transformera en risques sociaux tous les risques qui bénéficient d'une telle prise en charge, même lorsqu'ils sont individuels d'apparence. Un exemple, celui des secours en montagne, illustrera le paradoxe de ce découpage. Une ordonnance de l'Ancien régime garantissait à ceux qui couraient des dangers en montagne qu'ils ne paieraient rien pour les secours que la puissance publique leur apporterait. Avec une continuité séculaire, dont nous verrons qu'elle n'est pas rare en matière de législation du risque, la République a maintenu le principe de gratuité, jusqu'à certaines atténuations récentes qui visent à en contenir le coût budgétaire important. Il ne profite plus aux paysans et aux charroyeurs d'autrefois, qui affrontaient les périls pour des buts économiques et même de subsistance, mais aux alpinistes, qui vont les chercher pour s'accomplir dans une expérience intimement personnelle. Il n'est guère d'activité sportive que le sens commun désignerait comme plus individualiste que l'alpinisme, et cependant, elle se rattache au risque social d'après le critère envisagé.

À ces tentatives de définition, qui ne sont pas exhaustives, on peut répondre de deux façons. La première est celle des historiens et des sociologues qui ont fait de la socialisation des risques un trait constitutif de l'Occident moderne ou post-moderne[35]. On peut supposer que ceux-là s'ac-

(35) L'idée apparaît chez Ewald (1986) et Beck (1986), très différente cependant d'un auteur à l'autre, et argumentée par des moyens eux aussi très différents. Le premier, qui suit une méthode historique, souligne le rôle de l'État-providence et particulièrement des

commoderaient des définitions proposées sans craindre qu'elles dépassent leur objet. Pour eux, elles vaudraient même en s'ajoutant les unes aux autres, car chacune saisirait par un côté particulier le phénomène polymorphe qui les intéresse – le risque de chacun est devenu l'affaire de tous, la société secrète désormais les risques en même temps qu'elle y pare, s'occuper d'eux compte dorénavant pour une activité socio-économique essentielle. Une seconde manière de donner suite, plus sobre et plus conforme à l'analyse économique, est de sélectionner une définition particulière et de la restreindre pour qu'elle n'étende pas indéfiniment le champ du risque social. La meilleure, sous cet angle, est la première définition, par les conséquences : d'une part, elle englobe de fait la seconde, par les événements, ce qui limite les équivoques ; d'autre part, elle devient informative et même opératoire si on choisit de se limiter à certaines conséquences uniquement. On retrouvera le paradoxe du secours en montagne si l'on se contente de définir comme social tout risque ayant des conséquences sociales, et il faut procéder à un découpage strict à l'intérieur de celles-ci. Sans justifier plus notre position, nous retiendrons les deux critères suivants :

- *le nombre d'agents* – individus et entités sociales diverses – dont l'existence peut-être, la vie et le fonctionnement normal au moins, se trouvent mis en cause ;
- *le montant des coûts socio-économiques*, estimés de manière à faire bonne place large aux coûts indirects, suivant les méthodes brièvement signalées plus haut.

Les constructions techniques des praticiens trouvent facilement leur place dans ce cadre volontairement resserré. Nous avons vu que le risque se décrivait selon eux par la mise en relation fonctionnelle de la gravité d'un phénomène avec sa vraisemblance. Un risque social se décrira pour nous de la même manière, les conséquences sociales prenant la place du phénomène dans l'analyse(36). Les indicateurs de gravité seront à définir au cas par cas. En voici des exemples concrets que la section 2 reprendra : les surfaces qui sont susceptibles d'être inondées, et à quelle hauteur ; les zones autour d'une installation dangereuse qui correspondant à la diffusion d'un produit toxique, et à quel degré ; le nombre d'habitants, les valeurs immobilières et d'autres valeurs économiques, comme les chiffres d'affaires, exposés dans chaque secteur.

assurances sociales pour transformer les risques individuels en risques sociaux, et il fait donc remonter ce processus au XIX$^{e}$ siècle. Le second appréhende la socialisation du risque très amplement, à la manière de la sociologie spéculative, et il est difficile de lui attribuer un critère et un procédé de datation précis, mais il entend bien voir dans la socialisation du risque un phénomène d'aujourd'hui, « post-moderne » et non pas « moderne ». L'essai de Godard, Henry, Lagadec et Michel-Kerjan (2002) se rapproche du point de vue de Beck en insistant sur la « nouveauté » des plus grands risques et de leur mode de gestion collective.

(36) Les ingénieurs étendent parfois leurs analyses de risques à certaines conséquences sociales, comme le nombre de décès, au-delà des phénomènes physiques qui les intéressent. L'étude de Starr (1969) a poussé dans cette direction, qui est en fait celle du calcul coûts-bénéfices.

Ayant campé le risque social, nous pouvons définir le risque *majeur* des plus simplement, comme un cas particulier dans lequel les conséquences sociales sont très importantes. Ni pour la définition du risque social, ni pour celle du risque majeur, nous ne reprendrons la propriété classiquement invoquée, suivant laquelle l'événement source surviendrait rarement ou avec une faible probabilité, car elle est de nature empirique et elle paraît même, vue sous cet angle, comme singulièrement fragile. Les risques majeurs la vérifient dans l'ensemble *aujourd'hui dans les pays occidentaux développés*, mais rien n'assure qu'elle se maintiendra pour eux à l'avenir, et elle est de toute manière actuellement réfutée pour d'autres pays : les inondations du Bangladesh sont à la fois graves et fréquentes, et de même les cyclones qui frappent Haïti ou les submersions marines des îlots du Pacifique.

Les taxinomies précédentes du risque social se transposent au risque majeur, et c'est en visant cette application que nous les avions d'ailleurs mises en place. Les deux dimensions du nombre d'agents et des coûts socio-économiques reprennent, en ajoutant de la précision, ce qui a été dit sur les effectifs et la taille élevée ou non des conséquences. La distinction des risques majeurs accidentels et chroniques est pertinente, et de même celles des événements sociaux du type collectif ou distributif. Le risque majeur a donc une riche palette de variation, et en la parcourant, on relativise certaines idées existantes. Beaucoup d'auteurs, par exemple, n'envisagent le risque majeur qu'en relation avec des accidents, voire des catastrophes, et ils semblent en outre supposer qu'il existe *toujours* une métrique propre aux événements (décrits comme étant d'ampleur « normale » ou « exceptionnelle ») ; or ce n'est en fait pas le cas[37].

### 1.5. L'aléa, les enjeux, la vulnérabilité et le prisme de l'action publique

La définition la plus commune du risque majeur n'est pas celle de la sous-section précédente. Elle se fonde sur les concepts spécifiques d'*aléa*, d'*enjeux* et de *vulnérabilité*. On la rencontre en géographie, discipline qui est devenue fort active sur le sujet des grands risques, et elle en est venue à influencer la pensée des ingénieurs, qui l'intègrent parfois à leurs courbes de risque[38]. Elle est surtout la définition reçue des pouvoirs publics en France, dans plusieurs pays étrangers et dans quelques organisations internationales, ce qui l'impose absolument à l'attention. Nous devons tout d'abord vérifier si elle est compatible avec celle qui vient d'être avancée.

(37) Les inondations se mesurent par le niveau de submersion, les cyclones par la vitesse du vent, certains accidents industriels par la pression créée par le souffle ou par la quantité de toxiques émise, mais d'autres événements, comme les phénomènes de sécheresse géothermique ou les épidémies n'ont pas de grandeur associée, et ce sont en fait leurs conséquences, et non pas eux-mêmes, qu'on mesure effectivement.

(38) Sur les transformations de la géographie, voir Veyret et Reghezza (2005).

Le concept d'*aléa* ne pose guère de problème. Dès lors qu'on évite ses connotations malheureuses, il correspond à l'événement incertain de notre analyse. « Aléa » évoque hasard et imprévisibilité, alors qu'il ne faut jamais exclure, pour le risque naturel, une forme de régularité statistique, et, par là, de prévisibilité. « Aléa », surtout dans l'emploi particulier « aléa naturel », donne à penser que l'incertitude serait exogène, alors que les hommes influencent l'incertitude y compris dans le cas des risques naturels. Il est vrai que le sens du mot évolue favorablement depuis qu'on s'en sert pour traduire l'anglais *hazard*, lequel n'a pas les connotations précédentes. Ainsi, les économistes français disent aujourd'hui « aléa moral » pour *moral hazard*, alors que cette expression couvre un cas patent d'endogénéité, celui où l'incertitude d'un agent est en partie le résultat de l'action d'un autre.

Les notions d'*enjeux* et de *vulnérabilité* sont plus difficiles à localiser dans notre analyse. Suivant une acception possible, les enjeux sont les personnes, les choses, éventuellement les activités, que la réalisation de l'aléa met en cause ; suivant une autre acception, les enjeux ne sont pas des entités ou des activités, mais des valeurs socio-économiques – vies humaines, valeurs patrimoniales, chiffres d'affaires – représentant le maximum des pertes concevables. On glisse d'autant plus facilement d'une idée à l'autre que la population joue deux rôles, tantôt pour désigner ceux qui subissent les pertes, tantôt pour signifier une forme primordiale de perte, celle des vies humaines. Quant à la vulnérabilité, elle signifie tantôt le niveau absolu des valeurs socio-économiques perdues, tantôt le pourcentage des pertes rapport au maximum, une fois que l'aléa se réalise. Ces idées s'embrouillent parfois dans la littérature, mais dès lors qu'elles sont exposées, il ne reste que deux interprétations cohérentes pour le couple enjeux-vulnérabilité. Ou bien on voit les enjeux comme des entités ou des activités et la vulnérabilité comme un niveau absolu de pertes, auquel cas cette dernière notion suffit au traitement quantitatif du risque. Ou bien on voit les enjeux comme un maximum de pertes et la vulnérabilité comme un pourcentage applicable à ce montant, et l'analyse quantitative suppose d'employer les deux concepts. Des combinaisons plus subtiles existent, mais elles font intervenir d'autres concepts en sus de ceux-là[39].

Nous raisonnerons sur la seconde combinaison d'idées, parce qu'elle informe plus sur le risque majeur que la première, et il semble d'ailleurs que ce soit l'option prédominante des géographes[40]. Elle est parfois rendue chez eux sous la forme symbolique :

$$\textit{Pertes (ou dommages)} = \textit{enjeux} \times \textit{vulnérabilité}$$
$$\textit{Risque} = \textit{aléa} \times (\textit{enjeux} \times \textit{vulnérabilité})$$

(39) On peut vouloir décomposer le montant ou le taux des pertes en deux termes, l'un dépendant de la seule intensité de l'aléa et l'autre dépendant de la seule nature des entités ou des activités. Dans le cas de cette décomposition, il est normal d'identifier la vulnérabilité au second terme, en la distinguant alors du montant ou taux global des pertes.

(40) Voir Leone et *al*. (2010) ou, pour une application particulière au risque sismique, Thouret (2002).

La dernière équation suppose d'identifier l'aléa et sa probabilité, et elle suit l'idée première des ingénieurs, suivant laquelle le risque s'exprimerait par le produit d'une valeur de probabilité avec la mesure d'un phénomène. Chacune des deux équations reflète une évaluation plutôt qu'une définition du risque, et elle mobilise le critère de l'espérance mathématique. La théorie de la décision clarifie le rôle qu'y joue la vulnérabilité grâce à la séquence suivante. Un premier événement incertain, l'aléa, se réalise ou non, et dans le cas où il se réalise, un second événement aléatoire, non désigné, mais qu'on peut baptiser *la situation défavorable*, se réalise ou non. La vulnérabilité, définie comme pourcentage, n'est autre que la probabilité que cet événement se réalise ; elle s'estime à partir d'une moyenne des destructions constatées dans des circonstances comparables. Cette analyse fait de la vulnérabilité un concept qui n'est ni *ex ante*, ni *ex post*, mais *intérim*, c'est-à-dire applicable après que la première incertitude est résolue et avant que la seconde le soit. Notre concept de risque majeur peut très bien s'accommoder d'une séquence d'incertitudes, au lieu d'une incertitude unique, et du même coup, il peut s'intégrer une notion de vulnérabilité en sus de celles d'aléa et d'enjeux, qui posent moins de problèmes.

Ces précisions théoriques ne doivent pas faire oublier que le risque majeur est aussi, et même d'abord, un concept pragmatique, plus précisément lié *à l'action publique et aux formes qu'elle revêt*. Le portail du service public donne la définition suivante des risques majeurs : « Risques liés à des événements dont les effets occasionnent des dommages d'une exceptionnelle gravité dépassant les capacités ordinaires des pouvoirs publics ». Que la réponse des pouvoirs publics revête des formes exceptionnelles, cela n'est à première vue qu'un indice parmi d'autres de la gravité des conséquences. Mais pour les pouvoirs publics eux-mêmes, il s'agit d'une partie essentielle de la *définition* des risques majeurs. Généralement, le droit de ces risques les identifie par les mesures administratives qu'ils appellent. Par exemple, celui du risque technologique industriel distingue les installations dangereuses suivant qu'elles donnent lieu à une demande d'autorisation ou à une simple déclaration. Sans doute fournit-il aussi des critères physico-chimiques du danger, qui détermineront l'exploitant à faire une démarche ou l'autre, et qui permettront ensuite aux inspecteurs de l'État de vérifier s'il a procédé correctement. Mais ces règles opérationnelles ne doivent pas faire oublier que le risque lui-même est catégorisé par son traitement.

Les sections 3 et 4 sont consacrées aux actions publiques et elles suivent les divisions qui sont habituelles en cette matière. Il est commode de les rapporter à l'ordre temporel de résolution de l'incertitude, en n'omettant pas le stade intérim dont l'analyse vient de montrer la pertinence.

- les *mesures ex ante* comportent la reconnaissance du risque et son évaluation technique ou scientifique, la surveillance des indicateurs avancés, l'information du public sur le risque lui-même et l'état des indicateurs, éventuellement la délibération publique sur ces objets, enfin les mesures de prévention ;

- les *mesures intérim* sont celles de la gestion de crise (par définition du stade intérim, l'événement s'est produit, mais non pas encore les conséquences ou toutes les conséquences). Des mesures préparatoires à la gestion de crise (répartition préalable des rôles, exercices pratiques) peuvent s'adjoindre à la liste des mesures *ex ante* ;
- les *mesures ex post* comportent la réparation des dommages, qui peut être physique ou monétaire, équivalente à la perte ou non, les transferts monétaires que nécessite la réparation, enfin le retour d'expérience, accompagné ou non de délibération publique ;
- certaines mesures peuvent être dites *combinées*, parce qu'elles se prennent *ex ante* et ont des effets inflexibles *ex post*. On y rangera celles qui consistent, pour les pouvoirs publics, à instaurer une assurance ou à poser des règles de responsabilité civile. (Dans les deux cas, la réparation qui survient *ex post* est organisée *ex ante*, et elle se distingue donc d'une réparation décidée seulement *ex post*. Par ailleurs, ces mesures diffèrent de la prévention ou de toute autre mesure *ex ante* par le caractère automatique des effets qu'elles produisent *ex post*).

Les mesures de prévention demandent à être détaillées plus particulièrement. Certaines visent à supprimer un état de choses et d'autres, seulement, à l'atténuer – on parle dans ce cas de *mitigation*. Les états de choses sont, pour les uns, relatifs à l'aléa, et pour les autres relatifs aux enjeux ou à la vulnérabilité, et ces catégories manifestent à ce point leur pertinence. L'exemple d'une inondation les mettra en scène. L'aléa est ici la crue, éventuellement combinée à d'autres phénomènes hydrologiques comme la pluie persistante et le ruissellement. Si la prévention se tourne dans cette direction, elle consistera, par exemple, à installer des barrages et des champs d'expansion en amont de la zone qu'on veut protéger. Dans la définition que nous avons retenue, les enjeux sont les valeurs exposées, et la prévention, en ce qui les concerne, ne peut consister qu'à les réduire globalement. Des mesures de planification urbaine entrent dans ce groupe, notamment celles qui visent à éloigner les populations des zones exposées ou à déplacer en dehors d'elles certaines activités importantes. La vulnérabilité, quant à elle, commande certaines mesures de prévention spécifiques : la construction d'une digue en zone exposée peut la faire tomber à zéro, et les mesures de planification urbaine qui imposent des protections physiques aux bâtiments peuvent l'abaisser.

Dès qu'on passe aux mesures concrètes, les catégories de la prévention manifestent une certaine fluidité. L'exemple précédent suppose que l'aléa est la crue, ce qui entraîne une division particulière des mesures entre celles qui se dirigent contre lui et celles qui se dirigent contre la vulnérabilité. Si l'on convient que l'aléa est l'inondation elle-même, la division change et on reclassera, par exemple, comme étant relative à l'aléa la mesure consistant à établir une digue en zone exposée. La prévention elle-même n'est pas une catégorie étanche. Certains y incluent les mesures qui se proposent d'informer (de « sensibiliser ») le public et d'autres les tiennent pour distinctes.

Dans le vocabulaire administratif, le mot « prévention » se charge d'un sens large qui finit par couvrir l'essentiel des actions publiques *ex ante*[41].

Quelles que soient les distinctions faites entre les différents groupes de mesures, il est essentiel de tenir compte de leurs dépendances mutuelles. En instaurant un régime national d'assurance pour les catastrophes naturelles et pour les catastrophes technologiques, le législateur a encouragé, chez les particuliers, des anticipations et des incitations qui ont modifié leurs comportements de prévention, ce qui se répercute finalement sur les actions préventives que l'État lui-même doit engager. La même loi a fait naître des anticipations et des incitations d'un autre genre chez les représentants des collectivités locales, alors qu'ils contribuent à définir une partie des mesures préventives, comme en matière d'urbanisme. L'analyse économique, dans sa branche très développée de *l'économie de l'information*, apporte un éclairage précieux sur les effets indirects de l'assurance aussi bien que d'autres mesures, car son niveau d'abstraction lui permet de rapprocher des formes d'action sur le risque apparemment diverses[42]. Nous ferons souvent usage de ses idées même lorsque nous ne les expliciterons pas techniquement.

Le discours général épuise vite son efficacité quand on aborde l'action publique sur les risques majeurs, c'est pourquoi nous nous en tiendrons à ces quelques indications préalables. Elles auront du moins fait voir que les concepts d'aléa, d'enjeux et de vulnérabilité servent à catégoriser l'action publique, et il nous semble même vraisemblable qu'ils n'ont pris leur essor, considérable aujourd'hui, qu'à cause de cela. Nous pouvons ainsi conclure favorablement à leur emploi pour une raison pragmatique en sus de l'argument théorique antérieur, celui de la compatibilité avec la théorie de la décision. La section suivante, qui répercute le savoir des géographes, les mettra spécialement à profit, mais ils nous guideront aussi dans les suivantes, cette fois en raison de leurs connotations institutionnelles.

## 2. L'exposition aux risques majeurs en France

Cette section constitue la partie technique du rapport. Nous y reprenons en détail les trois groupes de risques majeurs pris comme objets d'étude, en rappelant s'il y a lieu les mécanismes physico-chimiques auxquels ils obéissent et en précisant l'exposition du territoire national par une cartographie chaque fois que celle-ci nous a paru disponible. La section appartient donc en bonne part à la géographie humaine et physique, discipline où l'on rencontre d'ailleurs un intérêt grandissant pour les risques naturels et technologiques[43].

(41) *La démarche française des risques naturels* n'envisage pas moins de « sept piliers de la prévention ».

(42) L'économie de l'information fait, par exemple, mieux saisir qu'un système juridique de partage de la responsabilité civile et qu'un dispositif d'assurance présentent des traits structurels communs, et quels sont ces traits.

(43) Pour les risques naturels en particulier, on consultera le manuel des géographes Leone, Meschinet de Richemond et Vinet (2010). Leur chapitre II présente une conceptualisation de l'aléa, des enjeux et de la vulnérabilité qui est voisine de la nôtre. Voir aussi Veyret (2004) et Pigeon (2005).

Pour autant, la section anticipe sur les analyses économiques et juridiques des suivantes. Plutôt que de développer une taxinomie des risques naturels à partir des travaux d'ingénieurs ou de géographes, nous nous sommes appuyés sur celle que le ministère du Développement durable emploie désormais systématiquement. S'agissant du risque technologique, dont la notion est plus difficile à cerner que celle du risque naturel, et sur lequel peu d'information globale existe, nous avions des raisons encore plus fortes de privilégier la nomenclature administrative : celle des installations classées nous a fourni la trame. Avec le nombre limité d'installations qu'il concerne, et une perception relativement uniforme des dangers qu'il présente, le risque nucléaire n'appelait donc pas de choix méthodologique difficile, et nous nous sommes appuyés là sur les travaux des autorités indépendantes, complétés par quelques points de vue d'experts.

La section repose sur les concepts déjà signalés d'aléa, d'enjeux, de vulnérabilité et d'exposition, qui se sont élaborés historiquement sur le cas privilégié des risques naturels. L'*aléa* est l'événement qui est susceptible de créer des dommages s'il se réalise. Les *enjeux* désignent tout ce qui se trouverait affecté par les dommages et qui présente de la valeur sociale (mais pas nécessairement monétaire). Sous cette catégorie composite, on peut ranger des personnes, des biens, des activités, des relations sociales, voire des représentations ou des sentiments des personnes impliquées, mais nous mettrons l'accent sur les trois premiers termes, qui définissent les enjeux les plus tangibles. La *vulnérabilité* indique le degré, variable mais pas nécessairement quantifié, auquel les enjeux sont susceptibles d'être endommagés par la réalisation de l'aléa ; en tant que propriété des enjeux, elle se distingue donc à la fois de l'aléa et des enjeux eux-mêmes, car le porteur d'une propriété ne se confond pas avec elle (mais tous les auteurs ne sont pas soigneux à cet égard). Enfin, l'*exposition* se définit soit par rapport au risque avec toutes ses composantes d'aléa, d'enjeux et de vulnérabilité, soit par rapport à l'aléa seulement, et nous le comprendrons tantôt dans le sens large, tantôt dans le sens étroit (qui est le sens principal de la littérature sur les risques).

Bien qu'elles soient claires dans le principe, ces distinctions tendent parfois à s'effacer dans le concret, surtout quand on quitte l'univers des risques naturels et que l'on ne dispose que de données partielles ou peu informatives. Avec les risques d'origine anthropique – dont nous soulignerons qu'ils recoupent en fait les risques catégorisés comme naturels – les mêmes populations peuvent jouer les deux rôles des enjeux et d'une des causes de l'aléa. Par ailleurs, il n'est pas rare que l'on appréhende un risque directement au travers des dégâts humains et matériels qui accompagnent sa réalisation ; ainsi dans le domaine des pollutions, qui touche de près à celui des risques technologiques. Dans ce cas, il n'est pas facile de se représenter séparément les enjeux et la vulnérabilité, et il se peut même que l'on ait du mal à cerner correctement l'aléa. En dépit de ces obstacles à la précision, qui sont inhérents au sujet, nous avons préservé les distinctions précédentes, ou

## 2. Typologie des phénomènes naturels selon le ministère du Développement durable

1-1 Inondation
- 1-1.1 Par une crue (débordement de cours d'eau)
  - 1-1.1.1 Débordement lent (de plaine)
  - 1-1.1.2 Débordement rapide (torrentiel)
- 1-1.2 Par ruissellement et coulée de boue
  - 1-1.2.1 Rural (souvent accompagné de coulée de boue ou d'eau boueuse)
  - 1-1.2.2 Urbain ou péri-urbain (souvent accompagné d'eau boueuse)
- 1-1.3 Par lave torrentielle (torrent et talweg)
- 1-1.4 Par remontée de nappe naturelle
- 1-1.5 Par submersion marine
  - 1-1.5.1 Houle, marée de tempête
  - 1-1.5.2 Raz-de-marée, tsunami

1-2 Mouvement de terrain
- 1-2.1 Affaissement
  - 1-2.1.1 Dû à des cavités anthropiques (carrières, sapes, muches)
  - 1-2.1.2 Dû à des cavités naturelles
- 1-2.2 Effondrement
  - 1-2.2.1 Localisé (fontis) dû à des cavités anthropiques
  - 1-2.2.2 Localisé (fontis) dû à des cavités naturelles
  - 1-2.2.3 Généralisé dû à des cavités anthropiques
- 1-2.3 Éboulement, chute de pierres et de blocs
  - 1-2.3.1 Chute de pierres ou de blocs
  - 1-2.3.2 Éboulement en masse
  - 1-2.3.3 Éboulement en grande masse (ou écroulement)
- 1-2.4 Glissement de terrain
  - 1-2.4.1 Glissement
  - 1-2.4.2 Coulée boueuse issue de glissement amont
- 1-2.5 Avancée dunaire
- 1-2.6 Recul du trait de côte et de falaise
  - 1-2.6.1 Littoral – côte basse
  - 1-2.6.2 Littoral – côte à falaise
  - 1-2.6.3 Berges fluviales
- 1-2.7 Tassement différentiel

1-3 Séisme

1-4 Avalanche

1-5 Éruption volcanique
- 1-5.1 Coulée (ou intrusion) de lave
- 1-5.2 Coulée pyroclastique
- 1-5.3 Retombée aérienne
- 1-5.4 Gaz
- 1-5.5 Lahar

1-6 Feu de forêt

1-7 Phénomène lié à l'atmosphère
- 1-7.1 Cyclone/ouragan (vent)
- 1-7.2 Tempête et grain (vent)
  - 1-7.2.1 Tempête (vent)
  - 1-7.2.2 Ligne de grain
  - 1-7.2.3 Grain
- 1-7.3 Trombe (vent)
- 1-7.4 Foudre
- 1-7.5 Grêle
- 1-7.6 Neige et pluie verglaçante
  - 1-7.6.1 Neige
  - 1-7.6.2 Pluie verglaçante

*Définitions* : *Talweg* (ou thalweg) : ligne symbolique qui suit la partie la plus basse du lit d'un cours d'eau ou d'une vallée ; *Sape* : ouvrage militaire creusé de part et d'autre de la ligne de front permettant aux troupes de s'abriter ou de tenter la pénétration des lignes ennemies ; *Muche* : souterrain creusé généralement à des fins de protection des villageois et de leurs biens, lors de troubles importants dans la France septentrionale ; *Fontis* : éboulement de terre sous un édifice ou dans une carrière ; *Coulée pyroclastique* : aérosol dense de gaz volcaniques et de particules de taille variable (des cendres volcaniques aux blocs rocheux de la taille d'une maison). Cette formation se trouve à la base d'une nuée ardente et s'élève peu du sol ; *Lahar* : coulée boueuse d'origine volcanique, principalement formée d'eau, de cendres volcaniques et de fragments de roche solide expulsés dans l'air pendant l'éruption d'un volcan ; *Grain* : événement météorologique au cours duquel la vitesse du vent s'accroît de façon brusque et marquée avec un net changement de direction et qui ne dure que quelques minutes ; *Tsunami* (du japonais *tsu*, port et *nami*, vague) : onde marine provoquée par la brusque mise en mouvement d'un grand volume d'eau.

Source : Ministère du Développement durable, notamment Laroche (2008, p. 5).

du moins leur intention, dans les trois sous-sections qui suivent, consacrées aux trois risques majeurs envisagés tour à tour.

Les données que nous y présentons se veulent autant que possible générales et utilisables pour les décisions futures. Il s'ensuit que l'on trouvera ici peu d'informations historiques, alors même que beaucoup d'ouvrages abordent les grands risques principalement sous cet angle. Les catastrophes emblématiques récentes – ainsi l'explosion de l'usine AZF en 2001, la canicule de 2003, les tempêtes Lothar et Martin de 1999 et Xynthia de 2010 – ne figurent ici qu'à titre d'exemples. En dépit de cette orientation du rapport, il reste que les généralités qu'il présente, et en particulier toute sa cartographie, reposent sur des données historiques interprétées suivant certaines techniques probabilistes ou plus intuitives.

## 2.1. L'exposition aux risques naturels en France

### *2.1.1. Liste des risques naturels*

Les risques naturels sont par définition ceux qui se rattachent aux phénomènes naturels dommageables. Le ministère du Développement durable (sous ses appellations successives) s'appuie sur une typologie devenue à peu près constante de ces phénomènes, et elle nous servira ici de fil directeur[44]. Ses grandes catégories sont les inondations, les mouvements de terrain, les séismes, les avalanches, les éruptions volcaniques, les feux de forêt et les phénomènes liés à l'atmosphère (tableau 2).

### *2.1.2. Répartition des aléas naturels sur le territoire français*

L'information relative aux aléas naturels provient de différentes sources, les unes administratives, les autres purement géographiques. Dans le premier groupe, on trouve des documents d'information préventive ou à portée réglementaire, synthétisés dans la base de données Gaspar (gestion assistée des procédures administratives relatives aux risques naturels et technologiques)[45]. Elle est mise à jour directement par les services instructeurs départementaux. Elle permet ainsi de constater que l'administration perçoit l'aléa et s'en préoccupe, mais non pas de l'étudier systématiquement, car le seuil à partir duquel une commune est définie comme exposée reste à l'appréciation des agents qu'emploient les services.

(44) Voir le document préparé par Laroche (2008) pour le ministère du Développement durable, ainsi que le document anonyme du même ministère, *La démarche française de prévention des risques majeurs* (régulièrement mis à jour). Leone, Meschinet de Richemond et Vinet (2010) regroupent les risques naturels en fonction des aléas et les rangent dans quatre catégories : climatique (phénomènes liés à l'atmosphère, mais aussi sécheresses, vagues de chaud, vagues de froid), hydroclimatiques (inondations et avalanches), morphodynamique (tous les mouvements de terrain), géodynamique (phénomènes volcaniques).

(45) Disponible sous http://macommune.prim.net/gaspar/. Cette base est gérée par la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) du ministère du Développement durable.

Le second groupe de sources consiste en données physiques, et c'est lui que nous avons retenu pour décrire l'exposition du territoire aux aléas naturels. Le site Cartorisque[46] du ministère du Développement durable permet d'appréhender les séismes, les avalanches et, de manière encore incomplète, les inondations. Les informations qu'il publie proviennent des services déconcentrés de l'État, travaillant sous l'autorité des préfets.

Munis de ces données, nous reprendrons tour à tour les phénomènes naturels dommageables du tableau 2, et c'est ainsi que nous décrirons l'exposition du territoire aux aléas naturels.

#### 2.1.2.1. Inondations

L'inondation d'une zone correspond à sa submersion, lente ou rapide, alors qu'elle est normalement hors des eaux. Ce phénomène touche près de la moitié des communes françaises et constitue le premier à considérer pour ce qui est de la diffusion territoriale. Du fait de son régime climatique et de sa topologie variés, la métropole est soumise à des types divers d'inondations (tableau 2).

On distingue en effet :

- les *inondations de plaine (crues lentes)*, qui ont pour origine des précipitations successives et soutenues sur de vastes zones, et les *inondations torrentielles (crues rapides)*, qui ont pour origine des précipitations intenses et localisées, souvent liées à des orages ou des cyclones. Les inondations de plaine sont progressives et peuvent durer jusqu'à plusieurs semaines ; celles de la région parisienne en 1910, qui sont classées comme un événement centennal, répondent à ce type. La montée des eaux est plus rapide, et la durée en général plus brève, lors des inondations torrentielles, qui affectent les régions montagneuses, le pourtour méditerranéen et l'outre-mer. Deux des grandes inondations que la France ait récemment connues s'y rattachent : celles de décembre 2003 dans la vallée du Rhône, qui provenait des affluents de la rive droite du fleuve, et les inondations du Var de juin 2010, liées à la crue de la Nartuby, puis de l'Argens ;
- les *inondations par ruissellement* surviennent par accumulation, puis ruissellement d'une grande quantité d'eau sur un sol rendu imperméable. Des coulées de boue les accompagnent souvent. Elles sont dues à des précipitations orageuses violentes qui saturent les possibilités d'absorption ou d'évacuation des eaux, et on les rencontre donc particulièrement dans les zones urbaines et péri-urbaines aux sols artificialisés. Mais elles peuvent aussi toucher les zones rurales lorsque le sol est gelé ou saturé en eau ;

(46) Disponible sous http://cartorisque.prim.net/

- les *inondations par lave torrentielle* sont des coulées de masses solides provoquée par un ruissellement important le long d'une forte pente et ellessont propres aux zones montagneuses ;
- les *inondations par remontée de nappe* ont lieu quand le niveau de la nappe phréatique ou de la nappe libre[47] atteint la surface du sol. Elles font suite à des événements pluvieux exceptionnels qui surviennent pendant les périodes annuelles où les nappes sont fortement chargées. Des effondrements de terrain les accompagnent parfois. Elles durent souvent plusieurs mois et touchent de vastes zones ;
- les *inondations par submersion marine* portent sur les zones côtières, submergées par l'élévation du niveau de la mer. D'après le ministère du Développement durable, 590 000 ha de terres sont exposés au phénomène à une fréquence centennale. Il est favorisé par l'érosion du littoral (voir plus bas les mouvements de terrain). Une submersion marine peut se produire sous l'effet d'une tempête ou éventuellement d'un tsunami, celui-ci étant lui-même déclenché par un séisme, une éruption volcanique, un glissement de terrain. Les côtes de la métropole, atlantiques et méditerranéennes, sont exposées à des tsunamis d'origine sismique plus ou moins lointaine. Aux Antilles, l'activité sismique locale est susceptible d'en créer, et à la Réunion, ils peuvent survenir à cause de glissements de terrain locaux ou d'événements sismiques lointains. Wallis-et-Futuna est aussi régulièrement menacée.

L'exposition du territoire aux inondations peut se définir par deux moyens que nous examinerons tour à tour. Les *zones inondables liées aux fleuves et cours d'eau* correspondent à une première définition, liée à l'analyse hydrogéomorphologique. Celle-ci étudie le fonctionnement naturel des cours d'eau en décomposant les vallées en unités plus fines, qui sont les différents lits topographiques que la rivière a façonnés au cours de son histoire. On distingue ainsi le lit mineur, le lit moyen, le lit majeur (et notamment le lit majeur exceptionnel) et, à partir de là, les zones d'inondation potentielle. Une carte résume, de manière homogène pour tout un bassin versant, les limites de zones inondables ainsi que les éléments naturels ou artificiels pouvant modifier l'écoulement des eaux[48].

(47) Une nappe libre est en contact direct avec l'atmosphère.

(48) Par ailleurs, l'hydrogéomorphologie permet également de représenter les limites effectivement atteintes lors des grandes inondations historiques connues. Rappelons qu'un *bassin versant* est un territoire sur lequel toutes les eaux convergent vers un même exutoire, typiquement un cours d'eau principal. Il est délimité par des lignes de crête qui servent aussi des lignes de partage des eaux.

La méthode comporte des limites. En premier lieu, les cartes sont réalisées au 1/25 000e, et leur utilisation avec un rapport de grossissement plus élevé ne peut donc être qu'indicative(49). Certaines zones inondables sont surreprésentées du fait des nombreux petits cours d'eau qui y sont recensés (par exemple la Manche). En second lieu, l'hydrogéomorphologie ne couvre ni les autres types d'inondations que les crues (ruissellement pluvial, lave torrentielle, remontée de nappe, submersion marine), ni les phénomènes non naturels pérennes (issus de la présence d'ouvrages par exemple). Enfin, la méthode oscille entre le point de vue déterministe et le point de vue probabiliste, et les limites de zones inondables ne correspondent pas à une période tout à fait précise de retour des crues.

Si près de la moitié des communes sont exposées aux inondations, elles ne le sont pas toutes au même degré (carte 1, *cf.* cahier central, p. I). L'Office international de l'eau évalue les surfaces fréquemment inondables, hors ruissellement urbain, entre 5 et 7 % du territoire. Le ministère du Développement durable estime que 73 % des communes soumises à un risque d'inondation par fleuve ou cours d'eau ont été recensées au 1er janvier 2010. Les zones inondables correspondantes dont la cartographie est disponible concernent 16 320 communes et 10 % de leur surface (26 400 km$^2$). Certaines communes exposées ne sont toujours pas cartographiées, notamment en Gironde (33), Savoie (73), Vendée (85), Seine-Saint-Denis (93).

Il existe une seconde manière, moins stricte, de définir l'exposition du territoire aux inondations, celle de *l'enveloppe approchée des inondations potentielles*. Elle repose sur une évaluation préliminaire des risques d'inondation réalisée dans chaque bassin hydrographique(50). La recherche d'homogénéité à l'échelle nationale a conduit à fusionner au niveau des bassins versants des sources d'information d'échelle et de précision variables,(51) puis à calculer des indicateurs de l'exposition aux inondations. L'évaluation obtenue a simplement pour but de cerner les contours des événements extrêmes, les caractéristiques de l'aléa (intensité, cinétique) ne sont pas prises en compte et la représentation graphique des enveloppes approchées des inondations potentielles n'a de sens que pour des échelles supérieures au 1/100 000e. La directive européenne sur les inondations (voir section 3), qui est à l'origine du travail sur les enveloppes, impose d'identifier, selon les critères de cette évaluation préliminaire, les territoires les plus exposés et de réaliser pour ceux-ci une cartographie des surfaces inondables et

(49) Si une carte est disponible informatiquement, on peut toujours en fixer l'échelle de lecture à un niveau qui excède l'échelle de réalisation ; mais c'est bien entendu la seconde et non pas la première qui définit la qualité de la représentation.

(50) Un *bassin hydrographique* est une zone dans laquelle toutes les eaux de ruissellement convergent à travers un réseau de ruisseaux, rivières, lacs et fleuves vers la mer, dans laquelle elles se déversent par un seul estuaire, delta, embouchure. Un bassin hydrographique peut regrouper différents bassins versants.

(51) Les atlas des zones inondables, qui viennent d'être présentés, les cartes d'aléas des plans de prévention des risques d'inondations, définis en section 3, et d'autres données encore, interviennent dans ce travail.

des risques en caractérisant l'aléa et ses conséquences sur les habitants, activités économiques et installations polluantes (l'échéance est fixée au 22 décembre 2013).

#### 2.1.2.2. Mouvements de terrain

Un mouvement de terrain désigne toute espèce de déplacement du sol et du sous-sol. Ce phénomène naturel affecte 7 000 communes, soit une sur cinq, et il est, derrière les inondations, le deuxième à considérer pour ce qui est de la diffusion territoriale. En raison du relief et des conditions climatiques, les Alpes, les Antilles et, dans une moindre mesure, les Pyrénées y sont particulièrement exposées. La nature ponctuelle de ces phénomènes fait qu'il n'en existe pas de carte nationale, sauf pour les tassements différentiels, qui seront définis plus bas[52]. Une cartographie départementale est en cours, mais c'est l'échelle communale qui serait la plus adaptée, et pour ce qui la regarde, il n'existe que les plans de prévention des risques, et toutes les communes n'en ont pas (voir section 3, encadré 3).

Les mouvements de terrains recouvrent des phénomènes naturels très divers. Un premier groupe est lié à la présence de cavités souterraines. Un *affaissement* est une déformation souple – progressive et sans rupture – de la surface du sol au-dessus de la cavité, alors qu'un *effondrement* est un désordre créé par la rupture de son toit. Les cavités peuvent être d'origine naturelle (par exemple, gouffres, grottes, cavités de suffosion[53], nombreux dans les reliefs karstiques ou pseudo-karstiques) ou d'origine anthropique (carrières abandonnées, en particulier marnières[54], ouvrages civils ou militaires tels que sapes et muches). Les dommages dus à des cavités abandonnées régies par le Code minier ne sont pas considérés comme relevant des phénomènes naturels (encadré 1). D'après le Bureau de recherches géologiques et minières, « il est généralement admis qu'environ 500 000 cavités sont potentiellement présentes dans le sous-sol français sachant que des inventaires détaillés permettraient d'en recenser entre 100 000 et 150 000, soit moins de 30 % ». Fin 2007, la base nationale des cavités souterraines en recensait environ 86 000, et en 2005, la Fédération française de spéléologie estimait les cavités naturelles à 70 000 environ[55]. Les cavités

(52) Une base existe pour la sinistralité passée : BDMvt (http://www.bdmvt.net/donnees_carte.asp). Elle recense les glissements de terrain, les chutes de blocs et éboulements, les coulées de boues, les effondrements, les érosions de berges.

(53) Les cavités de suffosion résultent d'une érosion interne due à la circulation d'eaux souterraines.

(54) Les marnières sont une catégorie particulière de carrières. Ces exploitations, souvent artisanales, servaient à extraire la craie (« marne » signifiant « craie » en patois normand) afin d'améliorer la productivité des terres agricoles.

(55) La base BDCavité (www.bdcavite.net) est gérée par le Bureau de recherches géologiques et minières. L'inventaire disponible en septembre 2012 est complet dans tous les départements, sauf neuf pour lesquels il est en cours et dix pour lesquels il n'est pas commencé. Cette base reflète la sinistralité passée et ne renseigne que partiellement sur l'aléa, puisque l'existence d'une cavité (dont seul le point d'entrée est renseigné) ne suffit pas à déterminer l'exposition aux affaissements et aux effondrements.

naturelles (et notamment karstiques) sont fortement représentées dans les grands massifs calcaires du Jura, des Alpes, des Pyrénées, et de la bordure Sud du Massif Central (Ardèche, Cévennes, Causses). Les carrières sont très nombreuses en Île-de-France, Nord-Pas-de-Calais, Aquitaine et Poitou-Charentes, Basse-Normandie. Les marnières sont très présentes en Haute-Normandie. Enfin, les lignes de front successives de la Première Guerre Mondiale ont laissé des milliers de sapes de guerre en Picardie et dans le Nord-Pas-de-Calais.

### 1. Une singularité juridique : les risques naturels d'origine humaine

Le droit français assimile à des phénomènes naturels les mouvements de terrain que provoquent certaines cavités d'origine anthropique (tableau 1). Ce régime est d'autant plus curieux qu'il porte sur certaines de ces cavités seulement, les mines y échappant, alors que les carrières y sont incluses. La raison d'un tel découpage est purement historique. La loi du 21 avril 1810 concernant les mines, les minières et les carrières sépare les « matériaux concessibles » et « non concessibles » en assurant la mainmise de l'État sur les premiers, jugés stratégiques : on y trouve le sel, les métaux, le charbon et les autres hydrocarbures, alors que les seconds regroupent surtout les matériaux de construction. L'extraction des matériaux concessibles donne naissance aux mines, celle des matériaux non concessibles aux carrières. C'est donc la nature du matériau extrait qui différencie les mines des carrières, et non leur méthode d'exploitation : les mines, comme les carrières, peuvent être souterraines ou à ciel ouvert. L'État peut accorder des « concessions » pour les mines à des entreprises (privées ou publiques) et il soumet alors les exploitants à la police des mines. Ainsi, le propriétaire du sol n'est pas responsable d'un accident dû à mouvement du sol que provoqueraient ces cavités. En revanche, les carrières souterraines relèvent du droit civil et engagent la responsabilité du propriétaire du sol. On conçoit que les plans des mines aient été conservés, même une fois l'exploitation terminée, alors que la mémoire des carrières abandonnées s'est perdue et qu'elles restent mal connues, malgré les efforts de recensement. Voici comment on explique finalement que la jurisprudence assimile à un risque naturel les anciennes carrières souterraines qui sont exposées à des mouvements de terrain. Elle traite de même les ouvrages civils ou militaires tels que les sapes ou les muches.

Dans un second groupe de mouvements de terrain, les *éboulements, chutes de pierre et de blocs* mobilisent des éléments rocheux plus ou moins homogènes, initialement faiblement déformés, depuis une pente abrupte jusqu'à une zone de dépôt. On distingue les chutes de pierres (volumes inférieurs à 1 $dm^3$) des chutes de blocs (volumes supérieurs à 1 $dm^3$) et des

écroulements en masse (volumes pouvant atteindre plusieurs millions de $m^3$). Les phénomènes les plus accentués surviennent en montagne et le long des côtes à falaise.

Le groupe des *glissements de terrain* correspond aux déplacements de terrains meubles ou rocheux le long d'une surface de rupture. Ils se produisent généralement en cas de forte saturation des sols en eau. Les coulées de boue, qui sont le type le plus liquide, peuvent atteindre une vitesse de 90 km/h ; les zones montagneuses y sont particulièrement exposées après des pluies torrentielles. Plusieurs glissements très importants[56] s'amorcent depuis quelques années, notamment à La Clapière[57] (Alpes-Maritimes, 06, reconnu comme le plus important d'Europe), à Ruines de Séchilienne[58] (Isère, 38) et à Prat de Julian et de Grasse (Alpes-Maritimes, 06). Aux Antilles, le climat humide et l'exposition aux secousses sismiques favorisent la survenance des glissements de terrain.

Dans un autre groupe, l'*avancée dunaire* désigne la progression d'un front de dune côtier vers l'intérieur des terres. Ce phénomène résulte du déplacement du sable sous l'effet du vent. Le *recul du trait de côte* affecte la limite entre les domaines marin et continental. Il résulte d'une érosion naturelle du sol et de la roche par l'eau et par le vent. L'Observatoire du littoral estimait en 2004 que 24 % du littoral métropolitain (soit 1 320 km de côtes, les deux tiers étant des côtes sableuses) reculait du fait de l'érosion marine. Plus de la moitié du littoral recule dans le Gard (30), les Pyrénées-Atlantiques (64), la Seine-Maritime (76), le Pas-de-Calais (62). Enfin, l'*érosion des berges fluviales* correspond à une ablation de matériaux des berges, due à un écoulement d'eau turbulent.

Le dernier groupe de mouvements de terrain, et non le moins significatif économiquement, correspond aux *tassements différentiels*, encore appelés *retraits et gonflements des argiles*. Ces phénomènes sont consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols, et ils s'expliquent par la sensibilité du volume des argiles à leur teneur en eau. En se rétractant ou en se gonflant, elles peuvent déplacer le sol de plusieurs centimètres, avec des effets parfois très importants sur les murs et les fondations des bâtiments. En France, le phénomène se manifeste surtout à l'occasion de la sécheresse estivale, d'où l'appellation qui lui est donnée aussi de *sécheresse géotechnique*. Il s'est produit sur une échelle et avec une ampleur inaccoutumées lors de la canicule de 2003, qui a donné lieu à de nombreuses études[59]. Généralement, il affecte 60 % du territoire métropolitain, mais certaines zones seulement

(56) Ces sites sont placés sous haute surveillance (voir section 3).

(57) Une masse d'environ 60 millions de $m^3$ de matériaux instables est susceptible de glisser et de barrer la vallée de la Tinée. Elle provoquerait l'inondation en amont de Saint-Étienne-de-Tinée et, si ce barrage rompait, la destruction, par vague déferlante, des villages en aval.

(58) Plusieurs millions de $m^3$ pourraient en effet barrer la vallée de la Romanche en contrebas et, en cas de rupture, provoquer l'inondation de l'agglomération grenobloise.

(59) Le rapport de Frécon et Keller (2009) revient sur cette sécheresse atypique et ses lourdes conséquences.

sont gravement touchées ; elles se rencontrent dans le Bassin Parisien, le Bassin Aquitain, le département du Puy-de-Dôme, la vallée de la Moselle, certaines parties du nord et du sud-est du pays (carte 2, *cf*. cahier central, p. II). Il faut des conditions multiples pour qu'un tassement différentiel se réalise : un sol argileux (calcaires argileux, marno-calcaires, dépôts alluvionnaires), des conditions supplémentaires favorisant les variations de volume(60), enfin une alternance de sécheresse et d'humidité. Des travaux ou d'autres interventions qui modifient l'écoulement des eaux peuvent y contribuer aussi. C'est la réunion de ces facteurs multiples qui explique la concentration du phénomène sur une partie du territoire.

La carte 2 représente l'exposition aux retraits et gonflements des argiles, en utilisant la base de données du Bureau de recherches géologiques et minières BDArgiles(61). Une cartographie est disponible aux niveaux départemental et communal à l'échelle 1/50 000e, et ce, sur l'ensemble de la métropole à l'exception de Paris (75). Elle hiérarchise les zones exposées selon un degré d'aléa croissant. L'analyse sous-jacente est probabiliste : elle consiste à quantifier des prédispositions locales à partir d'éléments techniques tels que l'épaisseur de la couche et le résultat des sondages minéralogiques. Les zones où l'aléa est estimé nul correspondent à des secteurs où les cartes géologiques actuelles n'indiquent pas la présence de terrain argileux en surface, mais il n'est pas exclu pour autant que quelques sinistres s'y produisent(62).

#### 2.1.2.3. Séismes

Un séisme, ou tremblement de terre, résulte de la libération brutale de contraintes qui se sont accumulées sur des roches situées en profondeur, et il se traduit matériellement par la rupture de ces roches ainsi que par des désordres importants du milieu jusqu'à la surface, le long du trajet de l'onde de choc. L'aléa sismique est faible ou modéré en France métropolitaine et fort dans les Antilles. Les Alpes, la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur et les fossés du Rhône et du Rhin sont exposés du fait de la collision entre les plaques africaine et eurasienne. Les Pyrénées sont affectées par le coulissement de la micro-plaque ibérique. Le Massif armoricain et le Massif Central sont sensibles à la réactivation des failles apparues en même temps que la chaîne des Alpes. Si les Antilles sont fortement exposées, c'est qu'elles doivent leur origine à la subduction de la plaque nord-américaine sous la plaque Caraïbes. L'effet direct des secousses sismiques s'aggrave de celui des glissements de terrain qu'elles peuvent provoquer.

(60) Outre les propriétés physiques du sol, la topographie intervient (une pente favorise le drainage du terrain), ainsi que la présence ou non de végétation (elle modifie l'écoulement des eaux du fait du soutirage racinaire).

(61) Voir http://www.argiles.fr/

(62) Il peut s'y trouver localement des éléments de nature argileuse (placages, lentilles intercalaires, amas glissés en pied de pente, poches d'altération) non identifiés sur les cartes géologiques à l'échelle 1/50 000e.

Le zonage sismique actuel, entré en vigueur le 1er mai 2011, repose sur le calcul de la probabilité qu'un mouvement sismique donné se produise au moins une fois en un endroit et une période de temps donné(63). L'analyse probabiliste se fonde sur l'ensemble de la sismicité connue (pour une magnitude supérieure à 3,5 ou 4 sur l'échelle de Richter, de manière à exclure les séismes mineurs), la période de retour de la sismicité, et le zonage sismotectonique, qui découpe le territoire en zones sources où la sismicité est considérée comme homogène. La carte nationale de l'aléa sismique ainsi obtenue divise la France en cinq zones de sismicité (carte 3, *cf*. cahier central, p. III). Le découpage est communal et Cartorisque permet une consultation à cette échelle.

#### 2.1.2.4. Avalanches

Une avalanche désigne un déplacement gravitaire, plus ou moins rapide, d'une masse de neige sur une pente, provoqué par une rupture du manteau neigeux. Les avalanches concernent essentiellement les Alpes et les Pyrénées. La carte de localisation disponible sous Cartorisque indique la sinistralité passée et plus précisément les extensions maximales des événements connus. Par elle-même, elle ne permet donc pas de déterminer l'exposition à l'aléa considéré.

#### 2.1.2.5. Éruptions volcaniques

Le volcanisme recouvre l'activité des volcans en général, et les éruptions en particulier, qui en sont la manifestation la plus remarquable. On définit celles-ci comme des émissions massives de matériaux solides ou gazeux, faisant suite à la remontée en surface d'un magma profond. Elles revêtent des formes variables qui spécifient le risque : coulées de lave, coulées pyroclastiques (qui sont en fait des aérosols), lahars (coulées boueuses), projections et retombées de corps solides, émissions de gaz. Le volcanisme se développe normalement aux frontières des plaques tectoniques, comme aux Antilles, et à la suite de leurs déplacements, mais un type moins commun, dit de point chaud, comme à la Réunion, existe indépendamment de cette cause.

La Soufrière en Guadeloupe, la Montagne Pelée en Martinique, et le Piton de la Fournaise à La Réunion sont des volcans en activité. Ceux de Polynésie française, de Nouvelle-Calédonie et du Massif Central sont en sommeil, ce qui ne veut pas dire éteints(64). La Guadeloupe est le territoire le plus menacé, non seulement par la Soufrière, mais par Soufriere Hills à Montserrat, 70 km au nord-ouest. En Martinique, l'activité volcanique très faible rend peu probable un réveil de la Montagne Pelée. La Réunion vit exposée, car le Piton de la Fournaise est un des volcans les plus actifs au

(63) Le zonage sismique de 1991 reposait au contraire sur une approche entièrement déterministe.

(64) Un volcan en sommeil peut à nouveau entrer en éruption, même si la probabilité de cet événement est très faible.

monde. Seule une éruption distante en Islande, en Italie ou en Grèce pourrait affecter le territoire métropolitain. Il n'existe pas à notre connaissance de carte nationale de l'exposition à l'aléa volcanisme, mais des cartes locales sont disponibles[65].

#### 2.1.2.6. Feux de forêt

On parle d'incendie ou de feu de forêt lorsque le feu se propage sur une étendue boisée, forestière ou subforestière (maquis, garrigue, landes), qui présente une certaine ampleur, généralement au moins 1 ha[66]. Il est courant d'estimer la probabilité d'occurrence à l'aide de l'*indice forêt météo*, qui utilise les paramètres vent, température, humidité, ensoleillement, relief et état de sécheresse du sol et de la végétation[67]. Pour Météo-France, un jour donné comporte un risque d'incendie s'il lui est associé un indice forêt météo supérieur à 20. Il en résulte une cartographie du territoire fondée sur cette statistique (carte 4, *cf.* cahier central, p. IV). Les zones boisées représentent 15 millions d'hectares, et 6 000 communes – soit une sur six – sont classées à risque de feux de forêt. Prises dans cet ordre, les régions Languedoc-Roussillon, Aquitaine, Provence-Alpes-Côte-d'Azur, Rhône-Alpes et Midi-Pyrénées concentrent l'essentiel de l'effectif, mais la Corse et la Réunion sont aussi particulièrement exposées.

#### 2.1.2.7. Phénomènes liés à l'atmosphère

Cette catégorie regroupe des phénomènes naturels très divers.

Un *cyclone*[68] est une formation atmosphérique nuageuse plus ou moins circulaire, caractérisée par des vents tourbillonnants à grande vitesse autour d'un centre de basse pression local, et donnant lieu à des précipitations qui peuvent être fortes ou modérées. Le diamètre des cyclones se compte en centaines de km et ils peuvent se déplacer sur des milliers de km, à des vitesses de plusieurs dizaines de km/h. Ils ont des propriétés variables suivant la latitude où ils se forment. Les cyclones tropicaux sont les plus violents par la force des vents et l'ampleur des précipitations, mais certains cyclones de latitude moyenne peuvent s'en rapprocher. Ainsi, non seulement l'outre-mer, mais la métropole sont exposés. Strictement parlant, une *tempête* est aussi un phénomène cyclonique, éventuellement atténué, mais les météorologues

(65) Pour la Guadeloupe, la Réunion et le Massif Central, voir respectivement :
- http://www.ipgp.fr/~beaudu/download/alea_soufriere.pdf
- http://www.reunion.pref.gouv.fr/ddrm/2011/images/risque05/carte.jpg
- http://www2.brgm.fr/volcan/massif_centra.htm

(66) La base de données Prométhée (http://www.promethee.com/) recense les feux de forêts passés.

(67) La moyenne annuelle de l'indice forêt météo sur le territoire français est assez bien corrélée avec le nombre de départs de feu ou encore avec la surface annuelle brûlée, à effort de prévention constant (Chatry et *al.*, 2010).

(68) *Cyclone*, *ouragan* et *typhon* désignent le même phénomène naturel et correspondent à des appellations différentes selon les régions du monde.

en viennent à désigner ainsi les épisodes de vent violent, approchant les 100 km/h à l'intérieur des terres et les 120 km/h sur les côtes[69].

La gestion nationale du risque de tempête obéit au *principe que les tempêtes affectent l'outre-mer de manière attendue, et les différentes parties de la métropole de manière imprévisible*. La première partie du principe est indiscutable, mais la seconde beaucoup moins, puisque les tempêtes abordent immanquablement la métropole par l'ouest et que leur intensité décroît normalement avec la distance parcourue. La tempête Xynthia de 2010 n'aura touché que les régions de l'Ouest. Les tempêtes Lothar et Martin de 1999 sont atypiques avec leurs rafales intenses sur les Alpes ou en Alsace.[70] Qu'il soit fondé ou non, le principe a des conséquences économiques de la plus haute importance, car il explique que les dégâts qu'elles causent relèvent de l'assurance ordinaire, et non pas du système dit des catastrophes naturelles, dans lequel intervient l'État (section 3).

Un *grain* se traduit par des rafales de vent brusques et à la direction imprévisible[71]. Il s'accompagne fréquemment de précipitations, et peut être isolé sous un orage ou s'étendre le long d'une ligne entière. Les trombes, la foudre et la grêle sont des phénomènes provoqués par les nuages d'orages. Une *trombe* (ou *tornade*) est un tourbillon passager de vents violents, à la forme verticale étroite, qui descend d'un nuage d'orage jusqu'à la surface terrestre. Le diamètre en varie de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres, pour un parcours de quelques kilomètres, qui dure rarement plus de 15 minutes. Le phénomène s'est produit spectaculairement en 2008 autour de la petite ville d'Hautmont, près de Maubeuge, qui a été ravagée (1 000 habitations touchées, dont 250 rendues inhabitables)[72]. La *foudre*, la *grêle* et la *neige* ne demandent pas à être redéfinies. Dernier phénomène naturel mentionné au tableau 1, la *pluie verglaçante* est une pluie qui reste liquide malgré une température inférieure à 0 °C. La précipitation initiale, de la neige formée en altitude, tombe à travers une couche située au-dessus du point de congélation et, en conséquence, fond ; quand les gouttelettes rencontrent le sol, elles y gèlent instantanément, ce qui donne du verglas. La plupart de ces phénomènes naturels sont bien connus, et les parties du territoire qui y sont exposées sont faciles à décrire.

(69) En mer, on parle de tempête lorsque le vent atteint la force 10 de Beaufort, qui correspond à plus de 89 km/h.

(70) Pour un rappel des événements et une bibliographie, voir Meteo-France, en particulier :
- http://france.meteofrance.com/france/actu/bilan/archives/2010/bilanxynthia?page_id=12646&document_id=22483&portlet_id=59056
- http://climat.meteofrance.com/chgt_climat2/bilans_climatiques/archives/autres/tempetes99?page_id=12838

(71) Selon une définition plus précise, les rafales de vent doivent être d'au moins 28 km/h supérieures à la vitesse moyenne du vent pendant une période d'au moins une minute. Le changement de direction doit être entre 45 et 90 degrés.

(72) Voir l'étude des météorologues Mahieu et Wesolek (2008).

### *2.1.3. L'évolution des aléas naturels en France*

#### 2.1.3.1. Changement climatique

Le changement climatique a sur les aléas naturels des conséquences qui ne se laissent appréhender qu'à long terme et avec une marge d'incertitude élevée, en raison même de la nature de ce changement. En ce qui concerne le risque naturel principal, c'est-à-dire les inondations par débordement de cours d'eau, les connaissances actuelles ne permettent pas de dessiner une tendance particulière à l'échelle du pays. Il est difficile de déterminer si le changement climatique a modifié les régimes des cours d'eau en France pendant les dernières décennies (Renard, 2006). La conclusion réservée demeure si l'on considère directement les coûts économiques : l'augmentation des dommages dus aux inondations en Europe entre 1970 et 2006 ne semble pas liée au changement climatique (Barredo, 2009). En revanche, il est vraisemblable qu'il ait des conséquences marquées à l'avenir, non seulement sur les inondations, mais sur les aléas côtiers, les retraits et gonflements des argiles, les aléas de montagne et les feux de forêt. Ce groupe a fait l'objet de recherches internationales, que l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (Onerc, 2009) décline à l'échelle française. Les principaux résultats seront ici rappelés :

- *aléas côtiers.* Le réchauffement des masses d'eaux cause leur dilatation et donc la montée des eaux. Un simple décalage du niveau de la mer – qui ne prend pas en compte la houle et les tempêtes – suffirait à engloutir de larges bandes côtières[73]. Par ailleurs, en se trouvant désormais plus près du niveau de la mer, les habitations seraient plus exposées aux phénomènes de surcotes[74]. La submersion définitive de zones jusque-là émergées ainsi que l'aggravation concomitante du recul du trait de côte mettraient en cause de grands effectifs. En Languedoc-Roussillon, un premier calcul en 2009 chiffrait à 140 000 le nombre d'habitations concernées à l'horizon 2100, ce qui donne plusieurs dizaines de milliards d'euros d'enjeux à risque (Le Cozannet et *al*., 2010) ;
- *retraits et gonflements des argiles.* Une augmentation de la fréquence d'apparition des canicules accentuerait les retraits et gonflements des argiles. Les dommages annuels pouvaient être multipliés par un facteur 3 à 6 d'ici la fin du siècle (Plat et *al*., 2009) ;
- *inondations, mouvements de terrain et autres aléas naturels en montagne.* L'augmentation des températures devrait affecter spécialement les zones de montagne, où l'on doit attendre une montée

(73) D'après l'ONERC, l'élévation du niveau de la mer entre 2090 et 2099 serait comprise entre 40 et 100 cm pour toutes les côtes françaises. Pour certains territoires, une montée du niveau de la mer de 40 cm correspond à une submersion permanente.

(74) La surcote correspond à la surélévation de la surface de la mer par rapport aux variations de la seule marée astronomique, généralement en raison d'une dépression météorologique.

concomitante des risques naturels. La fonte accrue des glaciers devrait mécaniquement accroître le débit des cours d'eau et donc la fréquence et la gravité des inondations (Renard, 2006). Par ailleurs, des glaciers plus fragiles multiplieront les chutes de séracs, voire les débâcles, avec parfois des accidents directs, comme l'histoire alpine en rapporte (voir encadré 2). Enfin, des températures plus élevées favoriseront le dégel du pergélisol[75] sur de vastes étendues ; or ce phénomène est une cause avérée des éboulements en masse (Deline, 2010) ;

- *feux de forêt.* Certaines simulations montrent que la surface fortement exposée aux feux de forêt devrait passer de 30 à 50 % de la surface forestière nationale d'ici 2050.

### 2. Les accidents dus à la fonte des glaciers

La fonte des glaciers aboutit naturellement à des accumulations d'eau de fonte, dont certaines restent stables, mais d'autres menacent de se vidanger brutalement. Plusieurs de ces formations communes sont dangereuses pour les vallées inférieures. Il faut distinguer les lacs glaciaires, qui se forment aux limites des glaciers, et les poches d'eau, dont les unes sont dans l'épaisseur même du glacier (intraglaciaires) et les autres au contact du glacier et de la roche (subglaciaires, les plus fréquentes). Les archives des villages alpins, en particulier en Suisse où les catastrophes glaciaires sont bien répertoriées, témoignent de ruptures spectaculaires de lacs ou de poches, avec des effets parfois meurtriers sur les populations. Le réchauffement climatique apparaît aujourd'hui comme une cause aggravante de ces risques ancestraux de la haute montagne. Il a été invoqué dans un cas qui défraie aujourd'hui la chronique, celui du glacier de Tête Rousse, célèbre parce qu'il domine l'itinéraire d'accès le plus fréquenté au Mont-Blanc. En 1892, le glacier s'est vidangé d'une poche glaciaire en inondant la commune de Saint-Gervais, ce qui y a causé 175 morts, et il est resté sous haute surveillance depuis. En 1904, on a percé une galerie pour le purger, et c'est le réexamen de cette galerie, en 2008, qui a fait découvrir que des poches d'eau s'étaient reconstituées. Depuis ce moment, l'État se trouve engagé avec la commune dans une entreprise coûteuse de pompage, mais il ne peut s'agir que d'une réponse provisoire, car les poches sont massives et continuellement renouvelées.

(75) Le pergélisol (« *permafrost* » en anglais) désigne un sous-sol gelé en permanence, pendant au moins deux ans.

2.1.3.2. Facteurs anthropiques

Si le changement climatique est souvent cité, des facteurs d'origine anthropique plus immédiate viennent renforcer les aléas naturels :

- *inondations.* Les réseaux d'évacuation et les systèmes d'irrigation modifient les écoulements naturels, et sur les cours d'eau mêmes, les ponts, les enrochements(76) et les digues ont un effet semblable. On reconnaît aujourd'hui que ces ouvrages ont réduit le champ d'expansion des crues d'une manière qui rend les plus violentes plus difficiles encore à maîtriser(77). D'autres facteurs anthropiques influencent les écoulements, comme le déboisement des bassins versants, souvent lié au remembrement rural, le tassement des sols par les engins agricoles sur les surfaces intensément cultivées, enfin et surtout, l'artificialisation des sols, dont le rôle négatif a déjà été souligné (voir aussi Le Quentrec et *al*., 2009) ;
- *mouvements de terrain sur le littoral.* Les barrages sur les cours d'eau ont pour effet indirect de faciliter l'érosion des côtes, car ils réduisent l'apport en sédiments. Les aménagements du littoral sont une cause encore plus directe de pertes : ainsi, les stations balnéaires construites sur les dunes en Languedoc-Roussillon ont perturbé les échanges de sable entre la plage et le système dunaire. La fréquentation humaine à terre fragilise les cordons dunaires et la fréquentation humaine en mer, combinée aux pollutions, altère les prairies sous-marines qui participent à la régulation de la houle ;
- *retraits et gonflements des argiles.* Cet aléa dépend directement d'interventions qui modifient la répartition des écoulements superficiels et souterrains des eaux ;
- *feux de forêt.* On peut douter du classement des feux de forêts parmi les aléas naturels, car ils sont à 90 % d'origine humaine lorsque l'origine du départ de feu est connue (Magnier, 2011). Le débroussaillage requis légalement n'est presque jamais mis en œuvre et cette carence représente un facteur aggravant manifeste des incendies de forêt. Même si la forêt française comporte toujours une prédominance de feuillus, les reboisements depuis la seconde guerre mondiale ont généralement privilégié les résineux, plus inflammables. Enfin, la France connaît une croissance qui semble devenue irrésistible de la population et de la construction dans les parties du territoire qui sont les plus exposées aux feux de forêt. De 1995 à 2007, la population s'est accrue de 10 % dans les communes classées à risque et les surfaces des logements autorisées dans les zones naturelles ou forestières de ces communes ont augmenté de 20 % (Magnier, 2011).

(76) Un enrochement désigne la constitution d'un amas de blocs de pierres.

(77) Cette généralité inquiétante est apparue notamment lors des auditions préalables au rapport.

### *2.1.4. Les enjeux des risques naturels en France*

Les enjeux liés à un risque naturel regroupent toutes les personnes, tous les biens et toutes les activités, comportant une valeur sociale, que le phénomène naturel est susceptible d'endommager s'il se réalise, et leur vulnérabilité mesure le degré auquel ils seront réellement affectés. Celle-ci dépend de la capacité, qui est en partie socialement déterminée, des individus, biens et activités, soit à résister au dommage sur le moment, soit à se rétablir une fois le dommage subi[78].

Suivant les données du ministère du Développement durable (2011), 88 % de la population française réside dans des communes soumises à un ou plusieurs risques naturels majeurs, outre celui de tempête. À notre connaissance, une cartographie des enjeux a été réalisée seulement pour les deux aléas naturels auxquels la population est le plus largement exposée : les inondations et ces mouvements de terrain particuliers que sont les retraits et gonflements des argiles. Les trois quarts de la population française résident dans des communes exposées aux inondations, et plus de la moitié réside dans des communes exposées à des mouvements de terrain.

#### 2.1.4.1. Inondations

Depuis la plus haute époque, des bourgs et des villes se sont établis le long des cours d'eau et des côtes pour profiter de la facilité de communication qu'ils offrent, et l'on ne peut donc être surpris de la vulnérabilité urbaine aux inondations. Les contours des zones inondables interceptent 436 des 941 communes de plus de 10 000 habitants.

Abstraction faite de la différence entre ville et campagne, en 2006, le ministère du Développement durable localise en France métropolitaine 5,6 millions d'habitants, soit environ 10 % de la population, et 3 millions de logements, soit environ 10 % des logements, en zones inondables par fleuves et cours d'eau. La carte 5 ( *cf*. cahier central, p. V) incorpore les estimations relatives aux logements. Les départements les plus exposés à cet égard sont les Alpes-Maritimes (06), le Gard (30), le Var (83), les Bouches du Rhône (13), le Vaucluse (84), l'Hérault (34), les Pyrénées-Orientales (66), l'Isère (38), le Rhône (69), la Haute-Garonne (31), Paris (75), les Hauts-de-Seine (92), le Val-de-Marne (94), l'Indre-et-Loire (37), la Moselle (57) et le Bas-Rhin (67).

À la suite de la directive européenne sur les inondations (section 3), on a réalisé une première évaluation des enjeux menacés par les débordements de cours d'eau et les submersions marines. Plusieurs autres cartes sont ainsi devenues disponibles. L'une des plus informatives représente la *superficie de l'habitat de plain-pied* suivant la méthode de l'enveloppe approchée des inondations potentielles des cours d'eau (carte 6, *cf*. cahier central, p. VI), et une carte similaire porte sur les submersions marines.

(78) Ce dernier aspect est souvent couvert par l'anglicisme *résilience*.

#### 2.1.4.2. Retraits et gonflements des argiles

Le nombre de constructions exposées aux retraits et gonflements des argiles est aussi considérable. D'après le ministère du Développement durable, en 2006, la France métropolitaine comptait près de 22 millions de logements exposés, dont 4 % en aléa fort, 21 % en aléa moyen et 75 % en aléa faible. À cause de la fragilité de leurs fondations, les maisons individuelles sont particulièrement vulnérables (carte 7, *cf*. cahier central, p. VII). Ainsi, toujours en 2006, la France métropolitaine comptait 12 millions de maisons exposées, avec une répartition comparable à celles des habitations en général : 4 % d'entre elles, soit 445 000, étaient situées dans une zone d'aléa fort.

### *2.1.5. L'évolution des enjeux et de leur vulnérabilité aux aléas naturels*

Deux groupes de facteurs causaux affectent les enjeux et leur vulnérabilité, ceux qui modifient en même temps l'aléa et ceux qui le laissent inchangé. On a vu par des exemples que les premiers pouvaient être d'origine anthropique aussi bien que naturelle ; quant aux seconds, que nous allons examiner maintenant, ils sont par construction d'origine anthropique exclusive.

Les facteurs principaux de ce groupe sont l'accroissement démographique et le développement économique dans les parties du territoire national que nous avons décrites comme les plus exposées. L'atlas des zones inondables permet de suivre leur urbanisation grandissante. D'après le ministère du Développement durable (2012), elles ont accueilli de 1999 à 2006 plus de 200 000 logements supplémentaires, dont 100 000 dans les communes de plus de 10 000 habitants. Ces nouvelles implantations ont densifié l'habitat plutôt qu'elles ne l'ont étendu. En effet, entre 2000 et 2006, la population croît dans les zones inondables comme sur l'ensemble du territoire (4,97 % contre 4,92 %), alors que les surfaces urbaines y progressent légèrement moins (1,2 % contre 1,6 %). L'explication est que les villes importantes, qui sont des pôles d'attraction démographique et économique, comptent parmi les plus exposées[79]. Quant aux évolutions futures, la croissance démographique est évaluée à 15 % d'ici 2040, avec une concentration forte en outre-mer et sur les façades littorales, ces dernières pouvant réunir 40 % de la population à cette échéance (ministère du Développement durable, 2012)[80].

(79) D'autres chiffrent confirment la densification des zones inondables. Le nombre total de logements construits en zone inondable auparavant non urbanisée était de 23 000, soit environ 10 % du supplément total de logements apparus en zone inondable.

(80) Les déplacements temporaires ou saisonniers, de tourisme notamment, contribuent aussi à l'aggravation de la vulnérabilité.

La nature des constructions est un facteur déterminant de la vulnérabilité, qu'il s'agisse des personnes ou des biens. Contre les inondations, il faut évidemment des bâtiments qui ne soient pas de plain-pied, qui aient des assises solides et qui permettent une évacuation par les étages supérieurs ou le toit. Un dispositif amovible, le batardeau, s'est avéré constamment efficace, et il serait souhaitable que toutes les constructions exposées puissent l'accueillir(81). La profondeur des fondations modifie l'exposition aux mouvements de terrain (tout particulièrement aux affaissements, effondrements, et retraits et gonflements des argiles). De même, les éléments de connexion (assemblages, longueurs de recouvrement d'armatures) et de contreventement, l'agencement des masses et des raideurs, la fixation des éléments non structuraux modifient l'exposition aux secousses sismiques.

Les enjeux et la vulnérabilité dépendent aussi des voies de circulation et des réseaux de transport (gaz, électricité, télécommunications). Ainsi, le recul du cordon littoral qui délimite l'étang de Thau a rendu inévitable un déplacement de la route, menacée d'effondrement sur une douzaine de kilomètres ; on l'a reconstruite le long de la voie ferrée, qui parcourt aussi le cordon littoral, à distance des dunes et de la plage que l'on s'efforce par ailleurs de rétablir, au prix de travaux de terrassement considérables. La route constituait à la fois un enjeu socio-économique et un facteur physique aggravant du retrait du littoral, et cette conjonction n'est aucunement exceptionnelle quand on aborde les facteurs anthropiques de l'exposition aux risques naturels(82).

La notion d'enjeu présente une complexité supplémentaire qui, cette fois, n'est pas spécifiquement liée au risque naturel. On peut la mesurer soit par des quantités physiques, comme la surface des logements ou la longueur des routes qui sont exposées à l'aléa, soit par des valeurs monétaires, comme celles qui servent de référence aux calculs des assureurs. Or ces valeurs peuvent s'accroître sans modification des données physiques correspondantes, soit que les prix augmentent, soit – abstraction faite de l'inflation – parce que certains biens qui n'étaient pas évalués le sont désormais. Ce phénomène de *monétarisation des enjeux* se constate en France sur la période de 1980 à 2005, où il se traduit notamment par le nombre accru des résidences secondaires assurées. Les données européennes sont convergentes(83).

(81) Un *batardeau* est une cloison amovible équipée de joints étanches. On l'installe devant les portes et fenêtres exposées d'un bâtiment. Les collectivités locales emploient des batardeaux sur une grande échelle en cas d'inondation majeure. Disposés à l'entrée des bâtiments publics, devant les bouches de métro, et même le long des berges de la Seine, ils constitueraient le recours principal si Paris devait être inondée par une crue de la Seine (auditions préalables au rapport).

(82) Tant qu'elle était située près de la plage, la route perturbait le trajet du sable sur les dunes et même en mer, contribuant ainsi d'elle-même à son effondrement. Engagés après 2002, les travaux représentent 50 millions d'euros d'après les documents officiels : http://www.languedoc-roussillon.pref.gouv.fr/actions/missionlittoral/grandsprojets_2.shtm

(83) Barredo (2009) montre que l'augmentation des dommages dus aux inondations en Europe entre 1970 et 2006 s'explique à la fois par l'accroissement démographique, par l'inflation et par la richesse réelle croissante par habitant.

Lorsque les assureurs estiment les dégâts causés par des événements climatiques voisins sur les pays d'une même zone géographique, leurs totaux varient quelquefois d'un ordre de grandeur entier. On ne s'expliquerait pas ces écarts si l'on n'invoquait pas ces deux phénomènes, distincts et liés, que sont l'augmentation des valeurs unitaires et l'augmentation du nombre d'unités soumises à l'évaluation.

## 2.2. L'exposition aux risques technologiques en France

Si l'on s'en tenait à une distinction conceptuelle, il faudrait mettre en pendant les risques naturels et anthropiques, en les distinguant par l'aléa, d'origine principalement naturelle dans un cas et principalement humaine dans l'autre (la sous-section précédente a fait sentir que les influences étaient souvent mêlées). Mais pour les besoins de ce rapport, nous avons privilégié les catégories directrices du droit et de l'administration, qui opposent les risques naturels et les *risques technologiques*. Ceux-ci tombent dans la classe anthropique sans l'épuiser, car ils laissent officiellement de côté l'ensemble des risques sanitaires(84). Le même corpus traite le *risque industriel* comme l'application principale du risque technologique, ce qui fait saisir la manière dont il a constitué ses notions. En effet, l'État s'est d'abord intéressé aux risques que présentait l'activité industrielle, dans la mesure où elle produit des matières dangereuses ou en fait usage, et où son fonctionnement s'émaille d'incidents ou d'accidents – incendies, explosions, émission de toxiques. Par la suite, d'autres catégories se sont développées en droit français, notamment celle du transport des matières dangereuses, et nous les reprendrons aussi.

La sous-section reproduira le déroulement suivi pour les risques naturels, mais plus brièvement, car nous verrons que certaines données importantes qui étaient disponibles là-bas font défaut ici.

### *2.2.1. Les aléas technologiques et leur répartition territoriale*

Dans le cas où le risque technologique est de type industriel, nous prendrons comme fil directeur la notion d'*installation classée*. Elle provient tantôt du seul droit français, tantôt du droit européen transposé à celui-ci. Dans tous les cas, elle se définit par des critères technologiques, les uns relatifs aux substances manipulées à l'occasion de l'activité industrielle, les autres relatifs à la nature de cette activité.

(84) Ces risques sont classés en trois groupes administratifs et juridiques : santé publique, santé au travail et santé-environnement.

2.2.1.1. Installations classées pour la protection de l'environnement

Une partie du Livre V du Code de l'environnement (*Prévention des pollutions, des risques et des nuisances*) porte sur les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). L'article L. 511-1 vise à ce titre « les usines, ateliers, dépôts, chantiers et, d'une manière générale, les installations exploitées ou détenues par toute personne physique ou morale, publique ou privée, qui peuvent présenter des dangers ou des inconvénients soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé, la sécurité, la salubrité publiques, soit pour l'agriculture, soit pour la protection de la nature, de l'environnement et des paysages, soit pour l'utilisation rationnelle de l'énergie, soit pour la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique »(85). L'article L.511-2 renvoie la définition des ICPE à une « nomenclature établie par décret en Conseil d'État, pris sur le rapport du ministre chargé des installations classées... Ce décret soumet les installations à autorisation, à enregistrement ou à déclaration suivant la gravité des dangers ou des inconvénients que peut présenter leur exploitation ». C'est de fait la nomenclature qui permet d'opérationnaliser la définition initialement donnée par le législateur.

La nomenclature est divisée en deux parties, la première relative aux *substances*, la seconde aux *activités*(86). Les substances sont classées en toxiques, comburantes, explosives, inflammables, combustibles, corrosives, radioactives, réagissant avec l'eau. Est une ICPE toute installation qui produit, emploie ou stocke une de ces substances à partir d'un certain seuil de capacité ; par exemple, une fabrique de soude, quelle que soit sa capacité, ou un dépôt de bois sec d'une capacité supérieure à 1 000 $m^3$. Le classement des activités est celui des branches agricoles et industrielles comme on les conçoit d'habitude, avec une branche supplémentaire définie par l'utilisation des déchets. Est une ICPE toute installation qui appartient à l'une de ces activités tout en dépassant, à nouveau, un seuil de capacité ; par exemple, une cokerie, quelle que soit sa capacité, ou une cidrerie dont la capacité va au-delà de 250 hl/an. Le découpage de la nomenclature en substances et activités n'est pas rigoureux, et ces deux parties sont d'ailleurs vouées à se reproduire jusqu'à un certain point, de sorte qu'une même installation, au sens physique du terme, peut tomber sous plusieurs articles de la nomenclature.

La loi distingue trois régimes administratifs des ICPE en fonction de la gravité des dangers qu'elles présentent. L'exploitant se contente d'une *déclaration*(87) pour les moins dangereuses, mais il doit solliciter une *auto-*

(85) Une mention supplémentaire est faite des carrières à l'article L 511-1.

(86) Voir la brochure mise en ligne par l'inspection des installations classées (version de mars 2012) : http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Brochure-Nom_v27-mars12-public.pdf

(87) L'exploitant d'une installation soumise au régime de déclaration la déclare et n'a pas besoin d'autre formalité pour la mettre en service. Il doit cependant respecter des prescriptions générales décrites dans des arrêtés types.

*risation*[88] pour les plus dangereuses, et dans cette catégorie, l'autorisation peut lui être accordée *avec servitudes d'utilité publique pour la maîtrise de l'urbanisation*. Il existe depuis 2009 une procédure *d'enregistrement* qui est intermédiaire entre celles de la déclaration et de l'autorisation[89]. C'est la nomenclature qui détermine, par des seuils quantitatifs, lequel des quatre régimes s'applique à une ICPE. Par exemple, l'autorisation s'impose si le dépôt de bois sec excède 20 000 $m^3$ ou si la cidrerie excède 10 000 hl/an, de capacité ; en deçà, la déclaration suffit.

Le nombre élevé de lignes de la nomenclature explique que la législation des ICPE s'applique sur une grande échelle. Au 31 décembre 2011, l'Inspection des installations classées, qui est chargée de la surveillance des ICPE, comptait un peu plus de 500 000 établissements visés. Dans cet ensemble, près de 45 000 relevaient du régime de l'autorisation, parmi lesquels il faut compter environ 15 000 élevages, 1 000 relevaient du régime nouveau de l'enregistrement, et les 450 000 restants du régime de la déclaration[90]. Ce décompte porte sur des établissements, et non pas sur des installations, encore que les sites officiels ne fassent pas toujours clairement la différence[91].

#### 2.2.1.2. Nomenclature européenne (Seveso)

À la suite de l'accident industriel de Seveso, qui s'était traduit par l'émission d'un nuage de dioxine sur la plaine lombarde, la réglementation européenne s'est intéressée à une classe d'établissements particulièrement dangereux, officieusement qualifiés de Seveso en raison de ce précédent historique. La première directive, dite Seveso I, a été prise en 1982, puis modifiée en 1996 par une autre, dite Seveso II, celle-ci étant à son tour remplacée en 2012 par une autre, dite Seveso III[92]. Le droit européen qui s'est constitué à partir de ces textes distingue *l'établissement*, pris comme l'ensemble du site placé sous le contrôle de l'exploitant (une usine entière, par exemple), et *l'installation*, prise comme une unité technique à l'intérieur de l'établissement (une unité de l'usine consacrée à la production, au

(88) L'activité de ces installations demande une autorisation préalable du préfet. L'exploitant en fait la demande, qu'il appuie par un dossier incluant notamment une étude d'impact et de dangers. Le fonctionnement reste conditionné au respect des prescriptions contenues dans l'arrêté préfectoral d'autorisation.

(89) Ordonnance n° 2009-663 du 11/06/09 relative à l'enregistrement de certaines installations classées pour la protection de l'environnement.

(90) Nous devons cette précision importante à une audition.

(91) Voir le dossier de presse du ministère du Développement durable : http://www.environnement-industrie.com/IMG/evenement/ACTIONS%20NATIONALE/actions%20nationales%202012.pdf

(92) Directives 82/501/CEE du 24/06/1982, 96/82/CE du 09/12/1996 et 2012/18/UE du 04/07/2012. La dernière directive doit être transposée avant le 01/06/2015.

stockage, au transport, par exemple). En outre, sous l'influence des catastrophes industrielles qui l'ont motivé, le droit européen fonde son critère de dangerosité sur la présence de matières dangereuses, en ne considérant les activités que par voie de conséquence. Seveso II comporte une classification des substances et, en fonction des quantités présentes, une différenciation des régimes préventifs obligatoires, laquelle définit à son tour des classes d'établissements dangereux. Le droit européen connaît à cet égard deux classes qui, dans la terminologie française, sont les *établissements (Seveso) à seuil haut* et les *établissements (Seveso) à seuil bas*.

La transposition en droit interne s'est principalement effectuée en 2000[93], et elle aura consisté à superposer cette nouvelle classification, avec ses obligations afférentes, à la nomenclature des ICPE, qui avait ses propres obligations afférentes. Pour que les deux systèmes soient compatibles, on a révisé la nomenclature en y ajoutant des substances ou en modifiant les seuils de substances déjà recensées. On a rapproché les établissements Seveso à seuil haut des ICPE qui relèvent d'une autorisation avec servitudes d'utilité publique (AS), et les établissements Seveso à seuil bas des ICPE qui relèvent d'une autorisation simple (A). La législation française après transposition est en fait plus sévère que la législation européenne d'origine.

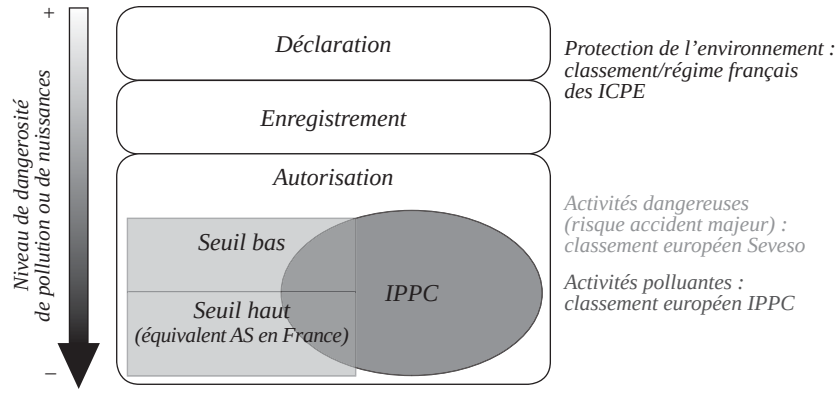
L'inspection des installations classées, qui veille désormais sur les établissements Seveso comme elle veillait et veille encore sur les ICPE, faisait le décompte suivant au 31 décembre 2011 : 616 établissements à seuil haut, donc ayant des ICPE du type AS, et 524 établissements à seuil bas, donc ayant des ICPE du type A, à comparer avec environ 43 000 établissements qui ne sont pas Seveso et ont des ICPE qui sont aussi du type A.

La répartition territoriale des établissements Seveso apparaît sur la carte 8 (*cf*. cahier central, p. VIII). La France métropolitaine en compte plus de 1000, dont la moitié se situe dans un quart des départements, en particulier en Seine-Maritime (76), dans les Bouches-du-Rhône (13), le Nord (59), l'Isère (38), le Rhône (69), la Gironde (33), la Loire-Atlantique (44) et les départements de l'Île-de-France. On ne s'étonnera pas de la proximité des fleuves et des embouchures, car les unités industrielles visées peuvent avoir des besoins en eau considérables. Elles se trouvent souvent mêlées à d'autres établissements industriels et proches des grands axes routiers ou ferroviaires, ce qui accroît le danger qu'elles représentent.

La figure 1 résume les liens entre les différents classements des installations à risque.

(93) Arrêté du 10/05/2000.

**1. Classement des installations à risque**




*Lecture* : AS = Autorisation avec servitude d'utilité publique ; ICPE = Installations classées pour la protection de l'environnement ; IPPC = *Integrated Pollution Prevention and Control*.

Certaines des ICPE des types A ou AS sont considérées comme les plus polluantes et alors classées IPPC en application de la réglementation européenne (Directive 2008/1/CE du 15/01/2008 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution). Toutes les installations Seveso ne répondent pas forcément à l'IPPC, puisque toutes les installations dangereuses ne sont pas sources de pollution et réciproquement.

*Source* : Service de l'observation et des statistiques du ministère du Développement durable (août 2011).

### 2.2.1.3. Transport de matières dangereuses

Le ministère du Développement durable a une notion propre de ce qu'est une matière dangereuse : il s'agit d'une substance qui, par ses propriétés physiques ou chimiques, ou par la nature des réactions qu'elle est susceptible de mettre en œuvre, peut présenter un danger grave pour l'homme, les biens ou l'environnement. Suivant cette définition, les matières dangereuses ne sont pas uniquement les substances de la nomenclature des ICPE, mais encore les carburants ordinaires, le gaz, les engrais ou d'autres produits chimiques banals. Elles se répartissent en 9 classes selon le degré de dangerosité (tableau 3).

Le transport de matières dangereuses s'effectue par voie routière, ferroviaire, aérienne, maritime, fluviale ou par canalisation. Comme ces infrastructures suivent les grands axes et les corridors fluviaux, on ne s'étonnera pas que six régions concentrent plus de la moitié des communes classées à *risque lié au transport de matières dangereuses* : Nord-Pas-de-Calais, Rhône-Alpes, Lorraine, Poitou-Charentes, Midi-Pyrénées, Haute-Normandie. Le ministère du Développement durable recense les canalisations enterrées de produits dangereux et en chiffre la longueur totale à 50 700 km, dont 37 000 km pour le gaz, 9 800 km pour les hydrocarbures et 3 900 km pour les produits chimiques(94).

(94) Pour la cartographie : http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/L_essentiel_sur/Environnement/Risques_technologiques/risquestechno3d.pdf

### 3. Classification des matières dangereuses

| Classe | Définition |
|---|---|
| 1 | Matières et objets explosibles |
| 2 | Gaz |
| 3 | Liquides inflammables |
| 4 | Matières solides facilement inflammables (4.1)<br>Matières sujettes à l'inflammation spontanée (4.2)<br>Matières qui, au contact de l'eau, dégagent des gaz inflammables (4.3) |
| 5 | Matières comburantes (5.1)<br>Peroxydes organiques (5.2) |
| 6 | Matières toxiques (6.1)<br>Matières infectieuses (6.2) |
| 7 | Matières radioactives |
| 8 | Matières corrosives |
| 9 | Matières et objets dangereux divers |

*Source* : Ministère du Développement durable.

#### 2.2.1.4. Activités minières

Pour le droit et l'administration, une mine est un gisement exploité, souterrain ou à ciel ouvert, de matériaux métalliques, énergétiques ou précieux, contrairement à la carrière, qui exploite des matériaux de moindre valeur, généralement utilisés pour la construction (encadré 1). Les mines relèvent du droit minier, qui est spécifique, mais elles peuvent aussi relever du droit des ICPE si elles en contiennent sur leur emprise. En métropole, la très grande majorité d'entre elles ne sont plus exploitées. La fin de l'exploitation implique une surveillance maintenue des puits, galeries et forages, qui facilitent après coup les effondrements et les remontées de nappe. Des affaissements se produisent jusqu'à 80 ans après l'arrêt de la mine et des variations peuvent affecter les nappes phréatiques aussi longtemps qu'elle ne sera pas ennoyée[95]. On compte 2 300 mines pour le seul bassin houiller du Nord-Pas de Calais, et 40 000 km de galeries minières dans tout le pays (elles sont réparties sur 2 500 communes).

Quelques rares mines restent actives en métropole, alors que l'outremer compte plusieurs exploitations considérables. Parmi les premières, on trouve notamment une mine de sel en Meurthe-et-Moselle (Varangéville), une mine de bauxite dans l'Hérault (Villeveyrac), une mine de bitume dans l'Ain (Corbonod). Parmi les secondes, il faut mentionner les mines d'or de Guyane (1,14 tonne produite en 2010) et celles de nickel de Nouvelle Calédonie (128 000 tonnes extraites en 2011). La métropole comporte quelques gisements de pétrole (895 000 tonnes en 2010) et de gaz (mais le gisement principal, celui de Lacq, s'éteindra en 2013). Les stockages souterrains, dont il a été question au titre des ICPE, suivent la réglementation de ces installations pour les éléments de surface et celle des mines pour les parties

(95) Comme l'indiquent Vaulont et Vo Van Qui (2012).

souterraines. La carte 9 (*cf.* cahier central, p. IX) représente les mines faisant ou ayant fait l'objet d'une exploitation en France métropolitaine en 2010.

Si elle était autorisée, l'exploitation des hydrocarbures de schiste compterait comme activité minière. Le *gaz de schiste* (aussi appelé *gaz de roche-mère*, ce qui traduit mieux « *shale gas* ») provient de la transformation de certaines argiles, riches en matières organiques, sous l'effet de conditions particulières de température et de pression. On l'extrait des roches qui l'emprisonnent (de l'argile litée et non du schiste, malgré l'appellation) par une technique de fracturation hydraulique visant à rendre ces roches poreuses. L'avantage énergétique indiscutable que son exploitation apporterait a pour contrepartie les dangers que celle-ci présente pour l'environnement. Le ministère du Développement durable parle des « risques de pollution des nappes souterraines par manque d'étanchéité des forages (le risque étant aggravé pour le gaz qui est par nature éruptif par rapport aux huiles plus denses) et de pollution des sols (en cas de fuite des canalisations) ». Les experts soulignent aussi les besoins en eaux importants, l'altération grave des paysages due au nombre de puits[96], voire des dangers sismiques modérés, dans la mesure où la technique impose de provoquer des explosions en profondeur. L'évaluation de ces différentes atteintes à l'environnement fait encore débat, et faute de résultats suffisamment incontestables, nous devons exclure de notre champ l'exploitation des gaz de schistes.

#### 2.2.1.5. Risque de rupture de barrage ou de digue

Un barrage est un ouvrage artificiel placé en travers du lit d'un cours d'eau pour en retenir le flux, obéissant à des buts économiques ou écologiques très divers (hydroélectricité, irrigation, alimentation en eau des villes ou de l'industrie, lutte contre l'incendie, obtention de neige de culture, régulation du cours d'eau). Une rupture de barrage est sa destruction partielle ou totale, dont les causes peuvent être techniques, humaines ou naturelles (séismes, crues exceptionnelles, glissements de terrain). Il en résulte une onde de submersion qui élève brutalement le niveau de l'eau en aval et provoque des conséquences potentiellement catastrophiques pour l'environnement et les populations.

Les barrages de plus de 2 mètres sont classés selon 4 classes en fonction de leur hauteur ainsi que du volume d'eau qu'ils retiennent[97]. Un barrage de 20 mètres ou plus est de classe A, et sinon il est de classe B, C ou D,

(96) Les gisements ne communiquent pas en raison même du substrat géologique, ce qui conduit à procéder à un forage différent pour chacun. Un puits donné peut être le point de départ de plusieurs forages orientés plus ou moins verticalement, mais le nombre total de puits rapporté à la production de gaz est beaucoup plus élevé que dans l'exploitation conventionnelle. Ainsi, la destruction du paysage doit être prise en compte dans le calcul économique.

(97) Décret 2007-1735 du 11/12/2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des barrages et des ouvrages hydrauliques et modifiant le Code de l'environnement. Voir aussi le rapport de Kert (2008) consacré à l'évaluation des barrages et autres ouvrages hydrauliques.

suivant sa hauteur (alors inférieure à 20 m) et suivant qu'il réalise ou non certaines relations prévues entre hauteur et volume. Comme pour les installations classées, les obligations administratives du constructeur ou de l'exploitant sont strictement graduées en fonction de la classe d'ouvrage. Le ministère du Développement durable recense 315 barrages de classe A, 330 de classe B, 1 100 de classe C et plusieurs dizaines de milliers de classe D. La carte 10 (*cf.* cahier central, p. X), qui porte sur les trois premières classes, fait apparaître une concentration des A et B dans les zones montagneuses et le long du Rhône, ainsi que, à un moindre degré, en Vendée (85), Deux-Sèvres (79), Haut-Rhin (68), dans le Territoire de Belfort (90) et en Bourgogne. Le sud-ouest de la France a de nombreux barrages de classe C utilisés pour l'irrigation des cultures.

Une *digue* est un remblai longitudinal artificiel, le plus souvent composé de terre, qui s'étend le long d'un lac, d'une rivière ou de la mer. Sa fonction n'est pas de retenir l'eau, mais de protéger de son écoulement les basses terres adjacentes. Les digues sont également classées de A à D en fonction de leur hauteur et du nombre d'habitants dans la zone protégée. En novembre 2011, le ministère du Développement durable estimait à 8 000 km la longueur des digues de protection contre les inondations fluviales et à 1 000 km celle des ouvrages de défense contre la mer. Après les ruptures de digue survenues au début des années quatre-vingt-dix, un inventaire de ces ouvrages a été entrepris, mais il reste partiel du fait de l'importance du linéaire concerné et de la multiplicité des maîtres d'ouvrage (qui peuvent être des particuliers).

### *2.2.2. Enjeux et vulnérabilité en matière de risques technologiques*

Tout comme pour les risques naturels, les enjeux varient avec la démographie, l'implantation urbaine et l'activité économique dans les zones exposées. Le plus célèbre des accidents industriels récents, l'explosion de l'usine AZF à Toulouse en 2001, illustre le phénomène assez courant d'une agglomération qui grossit au point d'absorber des usines d'abord prudemment localisées à sa périphérie. La vulnérabilité des populations s'accroît des faiblesses possibles de la construction, comme dans le cas des risques naturels, mais la correspondance est moins facile à caractériser, car un accident industriel de grande ampleur est de nature à endommager les bâtiments quels qu'ils soient. Ainsi, la catastrophe AZF présente un bilan immobilier stupéfiant : 27 000 logements atteints, dont une grosse moitié étaient des HLM ; des destructions visibles dans trois lycées, un bien plus grand nombre d'écoles et de collèges, des établissements universitaires, un hôpital, une salle de spectacle et d'autres établissements publics ; enfin d'autres établissements industriels touchés, dont certains étaient d'ailleurs des installations classées[98]. Les techniques de construction permettent de se prémunir contre l'effondrement des structures, les incendies et les bris de vitre, ou du moins elles en limitent les effets, mais l'extrême incertitude qui

(98) Le Centre interdisciplinaire d'études urbaines (2008) résume l'accident et son bilan.

enveloppe le risque d'accident industriel rend ces parades économiquement discutables.

À notre connaissance, la représentation sous forme de cartes est moins développée en matière de risques technologiques qu'en matière de risques naturels. Il existe du moins une cartographie sommaire de la densité des populations exposées aux installations Seveso (carte 11, *cf.* cahier central, p. XI)[99]. Ils sont en grande partie situés dans les départements les plus denses : Seine-Maritime (76), Bouches-du-Rhône (13), Isère (38), Nord (59), Rhône (69), Seine-et-Marne (77), Gironde (33), Pas-de-Calais (62), Haut-Rhin (68), Bas-Rhin (67), Moselle (57). L'histoire économique livre évidemment les clefs de cette corrélation.

### *2.2.3. L'évolution des risques technologiques*

Les risques technologiques obéissent aux mêmes facteurs d'évolution anthropiques que les risques naturels : croissance démographique et concentration urbaine, croissance économique et concentration des activités productives, monétarisation des enjeux indépendamment des transformations réelles (2.1.3). Mais certains facteurs spécifiques sont à l'œuvre aussi ; nous en isolerons trois.

En premier lieu, les risques technologiques sont incomparablement plus fluctuants que les risques naturels, puisque les premiers évoluent au gré des techniques de production, alors que les seconds obéissent à des causes relativement fixes. Simultanément, la *perception* des risques technologiques – celle de l'expert aussi bien que de l'homme de la rue – se modifie avec les techniques et ce que la science découvre après coup de leurs effets. Ce qu'on sait d'elles avant de les mettre en œuvre est le plus souvent limité ou trop théorique, de sorte qu'il faut attendre les réalisations pratiques, avec cette conséquence très préoccupante qu'on découvrira trop tard les dangers. Ainsi, le risque technologique n'est souvent identifié, et il n'est à coup sûr pleinement compris, qu'une fois l'aléa réalisé. L'industrie de l'amiante offre un malheureux exemple de cette prise de conscience graduelle et trop tardive. On peut sans doute en dire autant de la production des téléphones portables et d'autres artefacts qui mettent l'utilisateur au contact de champs électromagnétiques. Les deux cas les plus préoccupants restent celui des organismes génétiquement modifiés (OGM)[100] et des nanoparticules[101], dont la production et la vente à grande échelle auront précédé toute évaluation satisfaisante des effets sur l'environnement et la santé humaine.

(99) Le ministère du Développement durable propose une cartographie similaire pour les établissements industriels IPPC : http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/L_essentiel_sur/Environnement/Industrie/2011/industrie4.pdf

(100) Voir le dossier informatique de l'INRA : http://www.inra.fr/internet/Directions/DIC/ACTUALITES/DOSSIERS/OGM/OGM.htm

(101) Voir le rapport du Comité de la prévention et de la précaution (2006).

En second lieu, le risque technologique est susceptible de se diffuser universellement, alors que, à l'exception notable du risque climatique, le risque naturel est géographiquement circonscrit. Celui-là est souvent lié à la production de masse, qui, dans une économie ouverte au libre-échange et bénéficiant de transports à bas coût, exporte ses artefacts à l'échelle planétaire. Ils commencent à circuler avant que les réglementations nationales, et *a fortiori* supranationales, n'en tiennent vraiment compte, car celles-ci obéissent à une temporalité différente, fondée sur de longs préalables d'expertise et de concertation. Ainsi, les OGM et les nanoparticules sont déjà partout, y compris sur le sol des nations qui envisagent de les cantonner sévèrement. La diffusion très large du risque se présente aussi indépendamment de la circulation des artefacts, lorsque les processus naturels domestiqués par la technologie revêtent une ampleur inaccoutumée. Il en va ainsi de l'industrie nucléaire, dont il sera question en détail à la fin de cette section.

Enfin, le risque technologique interagit avec le risque naturel, mais suivant une relation causale asymétrique. En effet, il est possible, mais assez rare, que le premier aggrave le second[(102)], alors que la relation inverse est parfaitement courante. Dans cette direction de la causalité, il faut distinguer le cas où la réalisation de l'aléa naturel conditionne celle de l'aléa technologique, comme il est arrivé à la centrale de Fukushima lors du tsunami de mars 2011, et le cas où la réalisation de l'un est indépendante de celle de l'autre, mais où l'accident se trouve aggravé par leur conjonction temporelle, comme il aurait pu se produire dans l'exemple suivant. En octobre 2010, la Hongrie connut un accident industriel grave, la rupture d'un réservoir de boues rouges dans une usine d'alumine mal entretenue. En se déversant, le réservoir provoqua une inondation suffisante pour ravager un village entier et polluer gravement plusieurs affluents du Danube. Par chance, les boues toxiques se diluèrent avant d'atteindre le fleuve lui-même, mais il en serait allé différemment si des inondations, comme il en arrive sans cesse en Hongrie – 25 % du territoire est considéré inondable – avaient coïncidé avec l'accident[(103)].

### 2.3. L'exposition aux risques nucléaires en France

Cette sous-section présente succinctement le risque nucléaire civil (le volet militaire n'appartenant pas au rapport) sous les deux espèces des aléas et des enjeux, considérés tour à tour. Cependant, elle suivra moins rigou-

(102) Il ne faut pas confondre le phénomène déjà souligné de l'influence des facteurs anthropiques sur les risques naturels avec le phénomène, qui est visé ici, d'une influence des risques technologiques sur les risques naturels.

(103) Les *boues rouges* sont un déchet de la production de l'alumine à partir de la bauxite. Elles contiennent du mercure, du chrome, de l'arsenic et d'autres composants toxiques, ce qui contraint la filière industrielle à une surveillance particulière. En France, l'usine d'alumine de Gardanne, aujourd'hui possédée par Rio Tinto, donne lieu, d'après son directeur, à 300 000 tonnes de boues rouges principalement répandues en mer suivant une tolérance qui doit prendre fin en 2016. L'étude de Mioche (2010) précise les éléments historiques de la question.

reusement que les précédentes la distinction consacrée, car les spécialistes du risque nucléaire ne s'en servent guère, contrairement à ceux des autres risques technologiques et, surtout, à ceux des risques naturels, qui en sont les véritables inventeurs.

### *2.3.1. Aléas du nucléaire civil*

Les substances radioactives émettent des rayonnements ionisants dont les effets sur les organismes vivants dépendent de la dose effective absorbée. Pour l'homme, on estime aujourd'hui qu'une exposition aux rayonnements ionisants au-delà d'un certain seuil (égal à un gray(104)) entraîne des effets *à court terme*, dont la gravité, certaine, est fonction de la dose absorbée, alors qu'une exposition plus faible a des effets *à long terme*, dont la gravité, incertaine, est affectée d'une certaine probabilité variable avec la dose absorbée. Les effets de l'exposition aux faibles doses sont cependant mal connus et ils constituent un domaine de recherche important de la radiobiologie et de l'épidémiologie(105).

La littérature distingue en substance deux formes d'aléas nucléaires. La première est *l'exposition à une source radioactive non accidentelle*, soit que celle-ci ait dû être confinée, mais ne l'ait pas été suffisamment, soit qu'elle émette de faibles doses de manière normale (cas de l'imagerie, de la détection, ou même du rayonnement naturel). Dans les deux cas, la personne exposée se trouve irradiée. Les dangers liés aux activités nucléaires dites de proximité, telles que la médecine nucléaire et l'usage de produits radioactifs par l'industrie non nucléaire ou la recherche scientifique, sont de ce type.

La seconde forme est celle des *accidents liés à la fission nucléaire*, directement ou par l'intermédiaire des produits qui en sont issus. La personne exposée se trouve non seulement irradiée, à un degré qui peut être bien supérieur à celui du cas précédent, mais menacée d'autres effets par l'ingestion ou l'inhalation de particules radioactives, qui lui sont transmises par un milieu contaminé. Ces dangers sont essentiellement dus aux industries nucléaires civile et militaire.

L'évaluation et la gestion des risques nucléaires se sont donc naturellement divisées en deux champs. Le premier, celui de la *radioprotection*, concerne l'exposition des personnes et des milieux ; il se situe en quelque sorte au point d'arrivée des rayonnements. L'autre, celui de la *sûreté nucléaire*, porte sur les conditions de maîtrise à la source des scénarios accidentels lors de l'exploitation de la fission nucléaire, du transport du combustible usé et de son stockage.

(104) Le *gray* (Gy) est l'unité de mesure de la dose absorbée, c'est-à-dire l'énergie de radiation absorbée par unité de masse du corps irradié, au sens des mesures du système international (SI). Un gray est défini comme la dose d'énergie absorbée par une masse d'un kilogramme soumise à un rayonnement ionisant apportant une énergie d'un joule (1 Gy = 1 J/kg). Pour apprécier les effets biologiques des radiations, il faut en outre tenir compte des différences d'effets entre rayonnements et des différences de sensibilité entre tissus. Le *sievert* (Sv) est l'unité de mesure de la dose effective, homogène au gray, qui tient compte de ces deux facteurs. Sur les normes de radioactivité, voir par exemple Basdevant (2011).

(105) Voir, par exemple, Estève (2009) et Fairlie (2007).

C'est l'industrie nucléaire, et non pas l'activité nucléaire de proximité, qui fait ici notre objet d'étude. Elle est constituée d'activités allant de la fabrication et du transport des combustibles à l'entreposage des déchets et au traitement des effluents contaminés, en passant par la génération d'électricité dans des centrales nucléaires. En France, l'industrie nucléaire ainsi comprise représente 125 installations nucléaires dites de base (INB), qu'elles soient en cours d'exploitation ou de démantèlement, ainsi que près de 135 000 colis de matières radioactives transportés chaque année(106). La carte 12 (*cf.* cahier central, p. XII) situe les INB sur le territoire métroplitain.

Parmi les INB, les centrales nucléaires constituent la principale source de risque du fait de leur complexité et des quantités considérables de produits de fission hautement radioactifs qu'elles contiennent(107). Dans des conditions normales de fonctionnement, les centrales relâchent de faibles quantités de radionucléides dans l'air, les cours d'eau ou la mer. En cas d'accident, ces pertes peuvent devenir incontrôlées et quantitativement importantes. Les risques des centrales nucléaires apparaissent donc liés, d'une part, à l'exposition du personnel, de la population extérieure et de l'environnement aux conditions normales de la centrale et, d'autre part, à la possibilité qu'il y survienne un accident. On retrouve à propos des centrales les deux aspects de radioprotection et de sûreté qui viennent d'être distingués.

Le territoire français compte actuellement douze réacteurs nucléaires arrêtés, 58 réacteurs en activité répartis dans 19 centrales nucléaires, et un réacteur en construction (ASN, 2012). Les réacteurs arrêtés sont principalement ceux de la filière uranium naturel-graphite-gaz, qui constituait la génération I des réacteurs français(108). Les réacteurs en activité, tous du type à eau pressurisée (REP), appartiennent à la génération II, mise en œuvre en six vagues à partir du début des années 1970 (figure 2). Au fil des années, ce parc a fait l'objet d'avancées techniques progressives et de modifications liées aux enseignements de l'industrie nucléaire dans le monde, que l'on a cherché à mettre en œuvre sur les tranches nouvelles et anciennes. Enfin, le réacteur EPR (*European Pressurized Water Reactor*), en construction sur le site de Flamanville, représente la génération III, qui bénéficie d'améliorations structurelles importantes sur le plan de la sûreté(109). Seuls les États-Unis possèdent un parc nucléaire plus développé que la France, avec 104 réacteurs (69 REP et 35 réacteurs à eau bouillante) répartis sur 69 sites.

(106) Selon l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), 900 000 colis de matières radioactives sont transportés chaque année en France, dont 85 % sont liés aux activités nucléaires de proximité (http://www.asn.fr/index.php/Les-activites-controlees-par-l-ASN/Transports-de-matieres-radioactives).

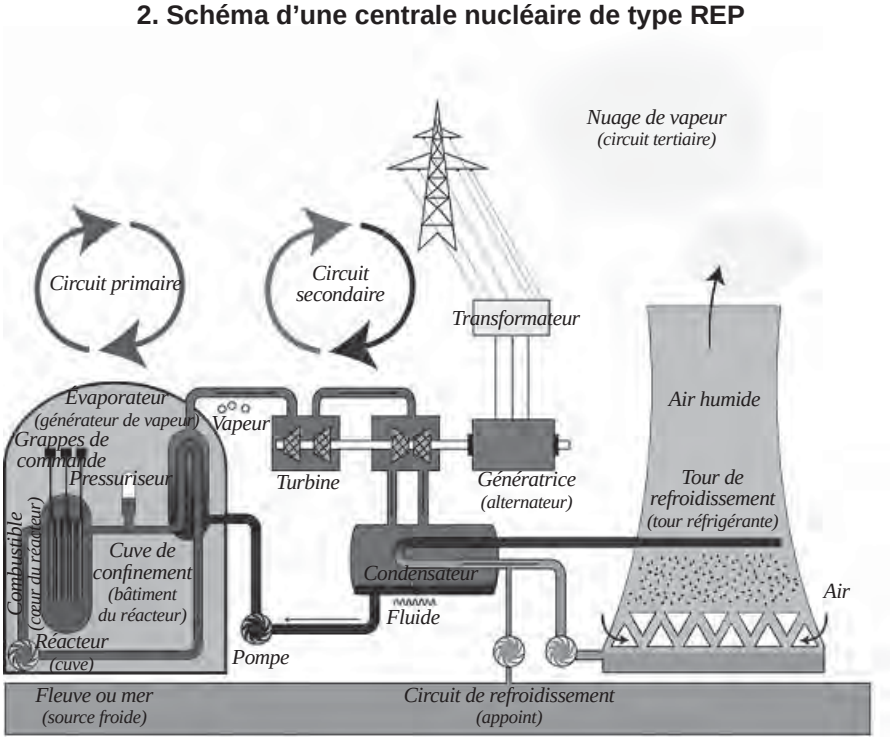
(107) Moins souvent mis en évidence que le risque de centrale, celui des déchets nucléaires fait l'objet d'une attention croissante. Voir les documents l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, en particulier, ANDRA (2009) et ANDRA (2010, chap. 3 particulièrement).

(108) Ils comprennent également le réacteur de Chooz A, premier réacteur à eau pressurisée (REP) construit en France, ainsi que le réacteur de recherche et de démonstration à neutrons rapides (RNR) Superphénix.

(109) L'EPR est un réacteur à eau pressurisée d'une puissance de 1 600 MWe. Une unité supplémentaire est en projet sur le site de Penly.

C'est du réacteur REP que nous traiterons en développant quelques éléments de la doctrine française de sûreté[110]. L'électricité qu'il produit vient de la chaleur dégagée dans son cœur par la fission d'atomes d'uranium ou de plutonium. Le combustible (dioxyde d'uranium $UO_2$ ou de plutonium $PuO_2$) est disposé dans le réacteur sous forme de pastilles formant des crayons, et ceux-ci sont gainés par un alliage de métaux résistant à la corrosion, tel que le zirconium. La fission est causée par la collision entre un neutron et un noyau d'uranium ou de plutonium. Il en résulte une libération d'énergie, l'émission de deux ou trois neutrons et la production de deux fractions de noyau. La maîtrise de ces trois résultats de la fission constitue le fondement de la sûreté des centrales nucléaires.

**2. Schéma d'une centrale nucléaire de type REP**




*Source* : http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Centrale_nucleaire_REP.png

(110) Nous nous appuyons sur le travail de Lahidji (2012, chap. 4).

2.3.1.1. Première fonction de sûreté : le refroidissement du cœur

La chaleur est extraite par un fluide primaire qui circule dans le cœur et à l'intérieur d'un circuit fermé (figure 2). Dans le cas des réacteurs en fonctionnement en France, il s'agit d'eau que l'on maintient sous pression afin qu'elle puisse atteindre une température de 285 °C, qui assure un rendement suffisant. Le *circuit primaire* est constitué de la cuve qui contient le combustible, d'un pressuriseur et de boucles équipées de pompes, où circule le fluide. Chaque boucle est reliée à un générateur de vapeur. Le fluide, dont la température approche 300 °C au contact des gaines, échange sa chaleur à l'intérieur des générateurs avec l'eau d'un autre circuit, physiquement séparé du précédent, le *circuit secondaire*. En se vaporisant, cette eau alimente une turbine et un alternateur, et produit l'électricité. Après son passage dans la turbine, la vapeur est condensée dans un échangeur à tubes horizontaux, que l'on place sous vide pour en améliorer le rendement thermodynamique. L'échangeur fonctionne lui-même grâce à un circuit de refroidissement *tertiaire*. À sa sortie de l'échangeur, l'eau du circuit secondaire est reconduite vers les générateurs de vapeur.

En cas de défaillance de la fonction de refroidissement, la chaleur produite par le combustible n'est plus dégagée, ce qui conduit à la fusion graduelle du cœur : fusion des gaines du combustible d'abord, puis dégradation des éléments de combustible et constitution d'un magma hétérogène (corium) ; augmentation de la chaleur et de la pression dans la cuve et bientôt, perte d'étanchéité de celle-ci.

2.3.2.2. Deuxième fonction de sûreté : le contrôle de la réaction en chaîne

En allant heurter de nouveaux atomes d'uranium ou de plutonium, les neutrons émis lors de la fission entretiennent la réaction en chaîne. Celle-ci nécessite donc la présence d'une quantité minimale de matière fissile, la *masse critique*. L'usage, cependant, est de déposer dans le cœur une quantité de combustible largement supérieure afin de réduire la fréquence des opérations de renouvellement. Les neutrons doivent donc être régulés de façon qu'à puissance constante, chaque noyau cassé en émette un seul, qui aille à son tour frapper un autre noyau. Des barres de commande introduites dans le cœur du réacteur, et le bore présent dans l'eau primaire, permettent de capter ou de ralentir les neutrons surnuméraires.(111)

Si la fonction de régulation défaille, la perte de contrôle sur la réaction en chaîne, qui peut conduire à une augmentation exponentielle de la puissance dont la cinétique dépasse les capacités de réaction de l'homme ; c'est l'*accident de criticité*, particulièrement redouté des ingénieurs nucléaires.

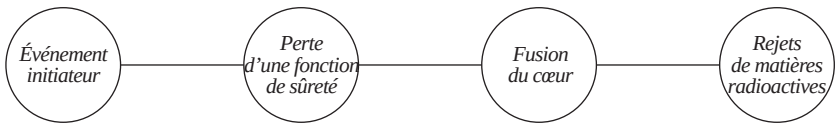
(111) On trouvera chez Basdevant (2011) plus de détail scientifique et technique sur la fission contrôlée et sa mise en œuvre dans les réacteurs REP.

2.3.2.3. Troisième fonction de sûreté : le confinement des produits radioactifs

Le fractionnement du noyau engendre des éléments radioactifs artificiels, les *produits de fission*. Il s'agit d'atomes instables, possédant un nombre de protons et de neutrons variable, et dont la durée de demi-vie peut aller de quelques secondes à des millions d'années. Les produits de fission, qui constituent l'essentiel des déchets nucléaires, doivent être confinés à tout moment pour empêcher la dispersion de radioactivité. Un premier niveau de confinement est assuré par le gainage du combustible ; d'autres sont intégrés à la conception de la centrale. Au fur et à mesure de l'usage du combustible, la quantité de produits de fission radioactifs présente dans le cœur augmente, dégageant une chaleur qu'il faut continuer à évacuer même lorsque le réacteur est arrêté. Les déchets sont ensuite retirés du cœur et entreposés dans une piscine de désactivation, où l'on attend qu'ils perdent une partie de leur radioactivité.

Une défaillance du confinement peut se produire pour chacune des barrières opposées à l'échappement des produits radioactifs : les gaines du combustible, l'enveloppe du circuit primaire, l'enceinte de confinement qui renferme ce circuit. Les trois fonctions de sûreté permettent d'identifier les *séquences accidentelles* susceptibles de mener à un accident grave, qui se traduira nécessairement par la fusion de tout ou partie du cœur du réacteur, éventuellement aussi par le rejet de matières radioactives en dehors de l'enceinte de confinement (figure 3).

**3. Schéma causal type d'une séquence accidentelle**




Les événements initiateurs d'une séquence accidentelle sont de quatre types. Des *défaillances internes* peuvent survenir dans le fonctionnement d'un équipement (rupture de tuyauterie, panne de composant) ou lors d'une opération normale de conduite de l'installation (erreurs humaines ou informatiques). Leur éventualité dépend, sur le plan technologique, du vieillissement des structures et de leur maintenance et, sur le plan organisationnel, de la culture de sûreté. Les *défaillances externes* concernent en particulier les sources d'alimentation électrique de la centrale. Les *agressions internes* résultent, par exemple, d'une inondation ou d'un incendie survenu dans les limites de la centrale, ou encore, de la chute d'une charge ou d'un projectile provenant des équipements à haute pression. Enfin, les *agressions externes* peuvent être d'origine naturelle (inondation, séisme) ou anthropique (chute d'avion, accident industriel voisin).

Le précédent de Fukushima montre les enchaînements catastrophiques que des aléas naturels extrêmes peuvent déclencher à l'intérieur d'une centrale nucléaire[112]. Le territoire français, bien que beaucoup moins exposé que celui du Japon, n'est pas entièrement à l'abri de tels phénomènes. En décembre 1999, les tempêtes Lothar et Martin s'accompagnèrent d'un niveau de la mer élevé ainsi que d'une forte houle sur la côte Atlantique. Dans la nuit du 27 au 28 décembre, des vagues remontant la Gironde submergèrent la digue protégeant la centrale nucléaire du Blayais et inondèrent la plate-forme, en bordure d'estuaire, sur laquelle elle est située. En raison de la tempête, la centrale avait déjà perdu les sources d'alimentation électrique auxiliaire 225 kV de ses quatre tranches, et les sources 400 kV de ses tranches 2 et 4. L'eau s'infiltra dans les parties basses des bâtiments et dans leurs galeries techniques, où elle atteignit de 1 à 4 m de hauteur, en déjouant les systèmes de sûreté.

Les défaillances multiples causées par la tempête et l'inondation ne suffisaient pas à créer une situation d'accident grave, mais en augmentaient fortement la possibilité. En particulier, si le système d'alimentation en eau de secours des générateurs de vapeur, n'avait pas fonctionné, le réacteur 1 n'aurait disposé de capacités suffisantes de refroidissement que pendant une dizaine d'heures. Le 28 décembre, la direction responsable de la sûreté nucléaire au ministère de l'Industrie déclenchait le deuxième niveau du Plan d'urgence interne, ce qui entraîna – pour la première fois – une mobilisation complète du centre technique de crise prévu à l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (ISPN, futur IRSN[113]). Mais on évita les séquences redoutables, et dans les jours suivants, 107 $m^3$ d'eau étaient pompés depuis les installations et rejetés dans la Gironde.

À la suite de la catastrophe de Tchernobyl, les experts de l'Agence internationale de l'énergie jugèrent opportun de disposer d'une mesure internationale de gravité des incidents et accidents nucléaires. Créée en 1990, l'échelle INES (*International Nuclear Event Scale*) classifie depuis lors les avaries nucléaires du monde entier, passées et présentes, suivant leur degré de gravité (tableau 4). L'événement du Blayais s'y trouve classé comme un simple incident de niveau 2. Les accidents graves commencent au niveau 5 ; ils s'accompagnent de la fusion du cœur du réacteur et du rejet, contrôlé ou non, de matières radioactives dans l'environnement. L'accident de Three Mile Island, qui semblait n'avoir eu que des effets minimes à l'extérieur de la centrale, a été classé au niveau 5 (Piegelberg-Planer, 2009). Ceux de Tchernobyl et de Fukushima, pendant lesquels une partie importante du cœur s'est échappée du confinement, se sont vu décerner le niveau 7 d'un accident majeur.

(112) Lahidji (2012, chap. 6) tente de rassembler les leçons de Fukushima. Nous en reprenons certaines plus bas.

(113) L'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN) a fusionné en 2002 avec l'Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI) pour constituer l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), qui est l'organe actuel chargé de ces deux fonctions.

**4. L'échelle INES (*International Nuclear Event Scale*)**

| Niveau | Qualification | Nombre d'événements répertoriés en France |
|---|---|---|
| 0 | Écart | Plusieurs centaines par an |
| 1 | Anomalie | Une centaine par an |
| 2 | Incident (Blayais) | Moins de cinq par an |
| 3 | Incident grave | 5 |
| 4 | Accident sans risque important en dehors du site | 2 |
| 5 | Accident entraînant un risque en dehors du site (TMI) | 0 |
| 6 | Accident grave | 0 |
| 7 | Accident majeur (Tchernobyl, Fukushima) | 0 |

*Source* : Autorité de sûreté nucléaire.

### *2.3.2. Les enjeux d'un accident nucléaire*

Les enjeux les plus immédiats sont situés à l'intérieur de la centrale et ils concernent d'abord son personnel, en particulier des équipes en charge de la conduite accidentelle. À Fukushima, 167 employés de la société Tepco ou de ses sous-traitants ont reçu des doses de radiation supérieures à 100 mSv, qui constitue la limite de dose admissible en cinq ans selon la législation européenne. Il s'agit en outre du réacteur lui-même, qui est définitivement hors d'usage s'il y a fusion de son cœur. À titre d'exemple, le réacteur de l'unité 2 de Three Mile Island a été définitivement arrêté suite à la fusion partielle de son cœur le 29 mars 1979, à peine trois mois après sa mise en service[(114)].

Autour du site, l'exposition des personnes et de l'environnement dépend de la quantité et de la nature des rejets de matière radioactive, des paramètres physiques de l'émission (durée, hauteur, etc.) et des conditions météorologiques. En cas de rejets massifs, la contamination peut rendre un territoire inhabitable et impropre à toute forme d'exploitation pour plusieurs années, voire plusieurs décennies. Sa population doit alors se déplacer et l'ensemble des biens touchés (terres agricoles, patrimoine naturel et culturel, infrastructures et équipements, immeubles) perdent une grande partie de leur valeur actuelle nette. À Fukushima, les autorités ont commencé par interdire la zone située dans un rayon de 20 km autour de la centrale, puis étendu l'évacuation aux habitants d'une zone pouvant aller jusqu'à 45 km

(114) Toutefois, le générateur électrique de l'unité, que la réglementation américaine regarde comme une partie non nucléaire, a été remis en service à la centrale de Shearon-Harris (Caroline du Nord) en 2010.

de la centrale ; c'est que la contamination la plus élevée ne définissait pas une limite circulaire. On considère qu'en dépit des efforts de décontamination, une partie de la zone interdite ne pourra plus être habitée pendant au moins une décennie.

Des territoires beaucoup plus étendus peuvent être exposés à des niveaux de contamination moindres, mais néanmoins suffisants pour justifier de ne plus commercialiser certains produits de l'agriculture ou de la pêche. On peut redouter des effets sanitaires dans ces zones aussi – par exemple une probabilité accrue de cancer de la thyroïde chez les enfants. Au Japon, l'ensemble de la zone dans laquelle un dépôt de césium 137 serait imputable à l'accident de Fukushima aurait une superficie comprise entre 24 000 $km^2$ et 30 000 $km^2$, soit entre 6 et 8 % du territoire national(115).

Enfin, un accident nucléaire a des enjeux économiques indirects importants : l'effet immédiat sur l'économie locale peut désorganiser les flux commerciaux à l'échelle nationale, voire internationale ; la détérioration de l'image de la région ou du pays entraîne des pertes de revenus d'exportation et de tourisme ; et l'industrie nucléaire et le secteur énergétique plus généralement subissent des répercussions considérables. L'accident de Fukushima a ainsi provoqué l'arrêt de dizaines de centrales au Japon, conduit plusieurs pays (dont le Japon lui-même) à déclarer leur intention de limiter ou d'abandonner la production électronucléaire, et il a entraîné dans le monde entier un durcissement des exigences de sûreté. En France, le coût des investissements supplémentaires suscités par le retour d'expérience de Fukushima est estimé à 5 milliards d'euros par la Cour des comptes (2012b).

Les considérations de *vulnérabilité* ont rarement fait l'objet d'études préalables dans le cas des accidents nucléaires, mais elles paraissent déterminantes pour la gestion de crise. La distribution prophylactique de pastilles d'iode, le confinement des populations exposées et leur évacuation, le retrait à la consommation des produits agricoles affectés font partie des mesures permettant de limiter les effets sanitaires d'un accident majeur.

Il n'existe pas à l'heure actuelle de description détaillée des enjeux d'un accident qui se produirait dans l'une des centrales françaises, ce qui explique notamment la cartographie pauvre de cette sous-section. Le choix des sites avait pourtant fait l'objet de réflexions utiles dans les années soixante-dix, lorsqu'il était apparu qu'ils comporteraient inévitablement des zones urbanisées dans leurs voisinages(116). La Direction de la sûreté nucléaire du Commissariat à l'énergie atomique avait alors mis au point un critère de sélection qui se fondait sur un découpage de la région limitrophe en secteurs géographiques, au sein desquels le nombre d'habitants

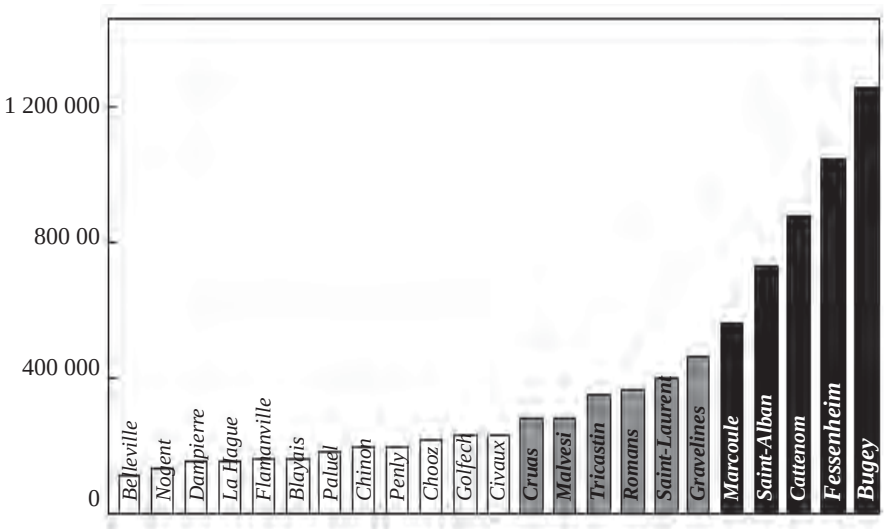
(115) Selon les relevés effectués par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN, 2012) et par le ministère japonais de l'Éducation, de la Science et de la Technologie (Asahi Shimbun, 2011).

(116) Voir Foasso (2003, pp. 437-44).

était pondéré par un coefficient de transfert atmosphérique calculé à partir d'observations météorologiques. Cela revenait à estimer l'exposition en se plaçant sous un certain scénario de rejets, puis en agrégeant différents scénarios météorologiques selon des probabilités de réalisation. L'étude avait permis de classer dix-huit sites de centrales, existants ou potentiels. Mais elle n'eut ni suite pratique, ni prolongement institutionnel.

La réglementation et les documents administratifs qui existent aujourd'hui sur le risque nucléaire se fondent sur le seul critère de la distance. Ainsi, dans les *plans particuliers d'intervention* (PPI), qui définissent les mesures d'urgence à prendre en cas d'accident d'une INB, la zone d'évacuation comporte un périmètre de 2 km autour de la centrale, et celle de confinement, un périmètre de 10 km. Comme le précédent de Fukushima montre que des zones situées à plusieurs dizaines de kilomètres du point d'émission peuvent subir des niveaux de contamination graves, les distances stipulées par les PPI semblent insuffisantes. La figure 4 montre qu'un périmètre de 30 km autour des principales INB inclurait de cent dix mille (Belleville) à plus d'un million deux cent cinquante mille personnes (Bugey)[117].

**4. Population située dans un rayon de 30 km des principales INB**




*Source* : Pascal (2011).

(117) La liste comporte les dix-neuf centrales nucléaires, le centre de stockage et l'usine de traitement de La Hague, le centre de conditionnement et d'entreposage de Malvesi, l'usine de fabrication d'éléments combustibles de Romans, l'usine de fabrication de combustible et le centre de traitement de Marcoule.

## 3. L'action publique en matière de risques majeurs

Cette section traite des différentes formes d'action publique relatives aux risques majeurs. Fidèles à la classification proposée à la section 1, nous distinguerons les formes *ex ante* (notamment *l'évaluation* et *la prévention*), intérim (*gestion de crise*), *ex post* (*réparation des dommages*) et combinées (celles-ci mettant en jeu *l'assurance* et *la responsabilité*). Dans un premier temps, ces rubriques nous aideront à sélectionner dans l'appareil légal et réglementaire les textes qui fixent le cadre officiel de l'action publique. Dans un second temps, elles organiseront directement l'étude de cette action, cette fois envisagée très concrètement et avec ses défaillances éventuelles par rapport aux normes.

On verra se dessiner *trois régimes intégrés de traitement public des risques majeur*s, dont les différences s'expliquent à la fois par des raisons objectives et par le poids de l'histoire. Au fil du temps, les risques naturels et technologiques se sont rapprochés dans le droit et la pratique, mais le risque nucléaire, apparu tard et reconnu comme tel plus tard encore, par ailleurs intimement lié aux grandes stratégies militaires et énergétiques de la nation, représente aujourd'hui une sphère entièrement autonome de l'action publique. Cette disparité – sur laquelle nous reviendrons au dernier stade du rapport – se reflète ici dans le découpage de la section. Les 3.1 et 3.2 décrivent respectivement l'évolution institutionnelle et l'état effectif de l'action publique relative aux deux premiers risques, et le 3.3 remplit les deux rôles à la fois pour le troisième. Le reste de cette introduction présente des repères descriptifs et conceptuels qui faciliteront la lecture des développements qui suivront.

Le cadre législatif et réglementaire applicable aux risques majeurs s'est mis en place à partir du XIX$^{e}$ siècle, pour partie en réaction à des catastrophes ou à de graves menaces. Le décret impérial du 15 octobre 1810 formule les principes, qui vont rester fondamentaux, d'éloignement, de contrôle et d'autorisation des activités industrielles. Il en est résulté la législation ultérieure des installations classées. De façon similaire, la loi du 28 mai 1858, suscitée par des inondations catastrophiques en 1856, annonce directement la politique ultérieure de prévention, par de vastes travaux d'endiguement, et de reconnaissance du danger, par la cartographie et le zonage.

Pour ces deux classes de risques, l'intervention publique a par la suite étendu son champ durant le XX$^{e}$ siècle pour finir par couvrir tout le spectre d'actions indiquées plus haut. Celles-ci trouvent désormais leur place au sein de régimes organisés. Les deux pièces maîtresses de cette unification sont la loi du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement et celle du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles, l'une et l'autre détaillées dans cette section. Le risque nucléaire fait l'objet d'un traitement tout aussi extensif, bien qu'il se distingue par sa composante principalement réglementaire.

Dans ces trois régimes, l'État est, en premier lieu, chargé de dire le risque. Il détermine les aléas naturels et les dangers industriels qui doivent être pris en compte, le plus souvent en les énumérant et les classant (mais ce n'est pas toujours le cas), et il définit les zones qui y sont exposées. L'analyse scientifique sous-jacente est *déterministe* : dans les zones exposées, tous les enjeux sont par hypothèse impliqués au même degré, et en dehors d'elles, toujours par hypothèse, le risque n'existe pas (même si l'indemnisation *a posteriori* des dommages n'est pas exclue). L'État est, en second lieu, chargé de parer au risque. Ses mesures sont d'abord d'ordre structurel. Elles consistent typiquement à bâtir des ouvrages de protection et à imposer des normes de construction et d'urbanisme. La conception et le pilotage de la prévention reposent sur le ministère du Développement durable, tout particulièrement la direction générale de la prévention et des risques, même si d'autres ministères (comme l'Agriculture et la Santé) peuvent intervenir dans leurs domaines de compétence respectifs. L'État, en troisième lieu, répond à la crise quand elle survient. Cette tâche relève au premier chef du ministère de l'Intérieur, au titre de la sécurité civile, et tout particulièrement de la direction générale qui en est chargée. Le centre interministériel de crise, qui est rattaché à l'Intérieur, organise les secours en cas de catastrophe et appuie les dispositifs opérationnels au niveau local. Enfin, l'État garantit et indemnise. Il rend possible que le système d'assurance privé offre ses garanties de manière crédible lorsque celui-ci fait face non plus à des accidents quelconques, mais à des catastrophes. Le registre de l'État est ici celui de l'économie mixte, et son bras armé, la Caisse centrale de réassurance, est précisément à l'interface du public et du privé. La couverture des dommages au-delà des mécanismes assurantiels existants incombe encore à l'État, mais cette fois discrétionnairement, et sur un mode politique plutôt que juridique. Outre son rôle attendu pour rétablir les infrastructures et la continuité du service public, il lui arrive de compléter l'indemnisation des victimes ou même de la remplacer si elle n'a pas eu lieu. En matière nucléaire, où les conséquences d'un accident peuvent très largement excéder le plafond limité de responsabilité civile de l'exploitant, l'indemnisation supplémentaire dépendra uniquement du bon vouloir de l'État.

Localement, l'action de l'État repose sur deux grands acteurs. Le *préfet de département* est le relais essentiel. Il contrôle la légalité des actes, la conformité des demandes d'urbanisme avec le cadre prescriptif des politiques de prévention, ainsi que la fiabilité des ouvrages de protection. Il est responsable de la gestion de crise et de sa préparation, qu'il remet à jour régulièrement d'après les règles de la sécurité civile, et, lorsqu'une crise dépasse les limites ou les capacités d'une commune, c'est lui qui exerce la direction des opérations de secours. Pour mener à bien ces missions, le préfet dispose du service interministériel de défense et de protection civiles, spécifiquement chargé de la prévention et de la gestion de crise à l'échelle départementale ; il dispose aussi des services déconcentrés de l'État (direc-

tion départementale des territoires, direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement). Le préfet s'appuie sur les rapports de l'inspection des installations classées et les avis du conseil départemental d'hygiène. Le *maire*, de son côté, est responsable de la sécurité sur le territoire de sa commune, et cette fonction se répercute sur ses autres responsabilités officielles. C'est ainsi qu'il doit prendre en compte les risques majeurs quand il élabore les documents d'urbanisme et qu'il accorde des permis de construire. Il est chargé de diffuser les consignes de sécurité préalables, puis l'alerte en cas de crise, et il doit alors participer à l'organisation des secours en appuyant le préfet. L'articulation des deux personnages est une caractéristique originale de la gestion française des risques, en même temps qu'elle est un de ses éléments les plus problématiques. Comme garant de la sécurité de ses administrés, le maire doit répondre en cas de manquement. Le préfet n'est pas seulement chargé d'une coordination générale, mais il doit aussi encadrer l'activité des maires et exercer de ce fait une forme de surveillance. La tension entre la représentation démocratique aux deux échelles, nationale et locale, se trouve ainsi résumée dans les rapports complexes des deux fonctions exécutives.

À partir du milieu des années 1980, les trois régimes de traitement du risque se sont vus confrontés à des exigences relativement nouvelles : celle de justifier les mesures prises au nom de la collectivité, et celle d'informer et d'y faire participer les acteurs de la société civile. Ces deux exigences, qui reflètent l'attente sociale, se sont rappelées à l'attention de l'État par des scandales : amiante, sang contaminé, retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl. Les accords internationaux et la législation européenne ont tiré dans la même direction. La directive européenne Seveso de 1982, qui s'inspire par d'autres côtés de la loi française de 1976, a institué l'obligation nouvelle pour les pouvoirs publics d'informer les populations autour des installations industrielles à hauts risques. En 1992, la Déclaration de Rio proclamait : « La meilleure façon de traiter les questions d'environnement est d'assurer la participation de tous les citoyens concernés, au niveau qui convient. Au niveau national, chaque individu doit avoir dûment accès aux informations relatives à l'environnement que détiennent les autorités publiques, y compris aux informations relatives aux substances et activités dangereuses dans leurs collectivités, et avoir la possibilité de participer aux processus de prise de décision. Les États doivent faciliter et encourager la sensibilisation et la participation du public en mettant les informations à la disposition de celui-ci »[(118)].

Afin de mettre ce principe en application, 56 pays ont adopté en 1998 la Convention d'Aarhus, qui en précise les termes et définit un droit à l'information en matière d'environnement. Le droit européen reprend la Convention par une série de directives, qui sont entrées par transposition dans le droit français. Sous les mêmes influences, la Charte de l'environ-

(118) Principe n° 10 de la Déclaration adoptée par la Conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement.

nement introduite en 2005 au préambule de la Constitution fait aussi place à l'implication du public dans les questions d'environnement.

Dans un ordre plus technique, la législation européenne accepte de plus en plus nettement la conception *probabiliste* pour évaluer les risques majeurs. La directive Seveso II de 1996 a pour la première fois admis que les mesures devaient être proportionnées aux risques d'accident propres à chaque établissement. La directive inondations de 2007 va encore plus loin dans la précision en demandant de lier chaque mesure de gestion du risque à un objectif de réduction soit de la probabilité, soit des conséquences de survenue de l'aléa.

Soumis à ces influences extérieures, les régimes français ont connu d'importantes évolutions au cours des deux dernières décennies, dont les principales étapes sont les lois de 2003 (dite Bachelot, sur les risques technologiques et naturels), de 2004 (sur la sécurité civile), de 2006 (sur la sécurité nucléaire) et de 2010 (dite Grenelle 2, sur l'environnement). L'information préventive est désormais reconnue comme un instrument important de la gestion des risques. Des plans communaux de sauvegarde, préfiguration de plans de gestion des risques à l'échelle municipale, sont maintenant requis, ce qui ne manquera pas d'enrichir la complexité de rapports entre le maire et le préfet. Les procédures de débat public et d'enquête publique, qui constituent un moyen de concertation traditionnel en France, devront faciliter l'accès de toutes les parties prenantes à l'expertise. L'organisation des services compétents de l'État central a elle-même subi des bouleversements.

Les fonctions d'expertise et de suivi nécessaires à l'évaluation des risques sont aujourd'hui largement dévolues à des établissements publics : Météo-France, le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)[119]. Dans le cas du risque nucléaire, les principales fonctions de prévention ont elles-mêmes été séparées de l'administration centrale avec la création de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Enfin – et ce mouvement ne reflète pas seulement les influences européennes, mais l'autonomie nouvelle de l'expertise – les politiques publiques font désormais une part croissante aux notions probabilistes, et donc aux concepts formels de risque, comme ceux qu'emploient l'économie et la théorie de la décision[120]. Alors que la loi française ne faisait qu'exceptionnellement usage du terme « probabilité » jusqu'au début des années 1990, près de trente-cinq textes législatifs et réglementaires, d'après notre compte, en font mention chaque année depuis 2006. De ce fait, les instruments d'évaluation et de gestion des risques majeurs se caractérisent

(119) La tendance est plus marquée encore pour les risques de santé publique : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM), Institut de veille sanitaire (InVS).

(120) Voir à ce propos la sous-section 1.3, ainsi que Lahidji (2012).

aujourd'hui par une juxtaposition parfois inconfortable de méthodes différentes, sur laquelle nous aurons à nous prononcer à la section 4.

## 3.1. Les risques naturels et technologiques : éléments d'histoire juridique et institutionnelle

### *3.1.1. Quelques textes fondateurs*

Sous l'Ancien Régime, l'État répond après coup et ponctuellement aux catastrophes, en secourant les populations et en palliant les conséquences matérielles, mais un premier effort réglementaire semble avoir précédé la Révolution et l'Empire, qui le poursuivront vigoureusement(121).

#### 3.1.1.1. Le décret impérial de 1810 sur les exhalaisons

Longtemps supportées avec résignation par les populations urbaines, les nuisances causées par l'artisanat deviennent un objet de préoccupation politique au début du XIXe siècle. Les protestations du voisinage s'expriment vivement dans une opinion plus libre et mieux éduquée, et les savants, que les doctrines hygiénistes commencent à influencer, leur donnent une forme publique autorisée. Empreint du génie rationaliste de la Révolution et de l'Empire, le décret du 15 octobre 1810 est l'ancêtre direct de la réglementation actuelle des risques technologiques. Il vise spécifiquement « les manufactures et ateliers qui répandent une odeur insalubre ou incommode » et les soumet à un régime d'autorisation graduée selon les inconvénients. Certains établissements ne pourront pas s'établir à proximité des habitations, d'autres le pourront seulement après une enquête publique, d'autres enfin le pourront sans cette contrainte. Ce sont les préfets, les sous-préfets et les maires qui accordent, respectivement, les permissions des trois classes. Placée en annexe du décret, une « nomenclature des manufactures, établissements et ateliers répandant une odeur insalubre et incommode » les assigne dans les trois classes – par exemple les fours à chaux dans la première, les fabriques de tabac dans la deuxième et les savonneries dans la troisième. Aujourd'hui, la nomenclature des installations classées répond au même esprit de hiérarchisation des dangers que l'annexe, et elles ont même en commun de ne faire aucun effort pour distinguer les activités, les matières et les lieux dangereux(122).

Le décret impérial exclut en général de la rétroactivité les établissements qui existent déjà, et pour ceux-là, il pose le principe de l'exploitation libre « sauf les dommages dont pourront être passibles les entrepreneurs de ceux qui préjudicient aux propriétés de leurs voisins ; les dommages seront

(121) Le Roux (2009) met en évidence des antécédents au décret de 1810.

(122) La nomenclature de 1810 mettait sur le même plan l'équarrissage, le suif brun et les triperies, et nous avons vu à la section 2 que la nomenclature des installations classées faisait le même genre d'assimilation entre une activité, un produit et une localisation (installation ou établissement). Les historiens ont de même fait ressortir la continuité des dispositions légales au-delà du XIXe siècle ; voir particulièrement Massard-Guilbaud (2010).

arbitrés par les tribunaux ». L'exception posée reflète le *principe de la responsabilité civile* tel que le Code civil adopté en 1804 venait de le mettre en place. La législation des risques technologiques repose encore aujourd'hui sur ce ressort juridique essentiel.

On s'étonnera de ce qui semble une restriction étonnante aux « odeurs » (ou « exhalaisons », comme il est encore dit), alors que la France urbaine de 1810 connaît à l'évidence des risques plus graves, comme ceux d'incendie ou d'explosion. Mais ces risques-là, plus anciennement perçus, faisaient et feront l'objet d'une attention séparée de la part de la puissance publique, et le décret importe précisément parce qu'il se penche sur d'autres désagréments, jusqu'alors mal encadrés. Par le biais curieux, mais facile à réglementer, des mauvaises odeurs, le texte de 1810 vise les risques nouveaux d'un pays qui s'achemine vers la révolution industrielle(123). Si frappante qu'elle fût pour les contemporains, l'explosion de la poudrerie de Grenelle en 1794 relève des préoccupations traditionnelles et, en dépit d'une affirmation commune, semble étrangère au décret(124). Avec sa conception plus large des inconvénients, la législation actuelle témoigne d'un travail d'unification qui était loin d'être acquis au départ.

Une autre limite du décret impérial est que, s'il empêche les usines de rejoindre les villes, il n'empêche pas, en sens inverse, les villes de rejoindre les usines. Conformément à l'esprit libéral du Code civil, les particuliers qui viendraient s'installer d'eux-mêmes près d'un établissement insalubre sont laissés à leurs propres risques(125). Il faut attendre le XX$^{e}$ siècle et son penchant interventionniste pour que la législation de l'urbanisme vienne combler cette lacune de l'action publique.

#### 3.1.1.2. La loi de 1858 sur les inondations

Les crues du XIX$^{e}$ siècle sur les grands fleuves (1846, 1856, 1866 sur la Loire, 1840 et 1856 sur le Rhône) et les dommages considérables que les inondations causèrent aux villes (celles de 1856 étant les plus graves) sont à l'origine d'une loi du Second Empire, adoptée le 28 mai 1858 par le Corps législatif, qui visait à les mettre à l'abri par des travaux convenables(126). Pour l'essentiel, le texte énonce des principes : c'est l'État qui est responsable des travaux et ils seront financés par lui, les départements, les

(123) Le décret, qui a beaucoup sollicité l'attention des historiens, suscite d'autres interprétations encore. Après une complaisance séculaire pour la puanteur des villes, les populations commencent à la ressentir comme une nuisance authentique (Poiret, 1998). Pour les esprits éclairés, notamment les hygiénistes, les vapeurs, exhalaisons ou simples odeurs sont médicalement suspectes, car elles sont les indices et peut-être même les vecteurs des maladies contagieuses ; il en ira ainsi jusqu'à la révolution pastorienne (Jorland, 2010).

(124) Le Roux (2011) confirme l'absence de lien véritable.

(125) « Tout individu qui ferait des constructions dans le voisinage de ces manufactures et ateliers après que la formation en aura été permise, ne sera plus admis à en solliciter l'éloignement ».

(126) Loi du 28/05/1838 relative à l'exécution des travaux destinés à mettre les villes à l'abri des inondations.

communes et les propriétaires « dans la proportion de leur intérêt respectif ». Mais le texte se fait plus précis quand il confère à l'administration la prérogative d'interdire ou de modifier la présence de digues qui perturberaient l'écoulement des fleuves ou de leurs principaux affluents, et il demande alors que des cartes soient faites des zones submersibles où ce phénomène pourrait se produire[127]. On a pu interpréter la première disposition comme un arbitrage en faveur des villes contre les campagnes, destinées à former des champs d'expansion pour les crues[128]. Quant à la seconde, elle nous semble amorcer lointainement une démarche qui s'est progressivement imposée en matière de risques naturels : celle d'une cartographie dont les objectifs sont multiples – reconnaître le phénomène naturel et ses dangers, informer les citoyens et leurs représentants, donner une base légale à l'intervention publique[129].

#### 3.1.1.3. La loi de 1917 sur les établissements dangereux, insalubres ou incommodes

La longévité du décret napoléonien étonne : il faudra plus d'un siècle pour que le législateur en revoie les dispositions. La loi de 1917 renonce au critère olfactif des nuisances pour définir son objet à un niveau conceptuel plus approprié. Elle vise tous les « établissements dangereux, insalubres ou incommodes », qui correspondent plus précisément à ces caractères : « Les manufactures, ateliers, usines, magasins, chantiers et tous établissements industriels ou commerciaux qui présentent des causes de danger ou des inconvénients soit pour la sécurité, la salubrité ou la commodité du voisinage, soit pour la santé publique, soit encore pour l'agriculture, sont soumis à la surveillance de l'autorité administrative dans les conditions déterminées par la présente loi ». Par ailleurs, la loi de 1917 suit la classification des établissements d'après l'éloignement désirable des habitations, et elle reprend aussi l'exigence d'une autorisation pour ce qui concerne les deux classes les plus dangereuses. Elle en libère la troisième et dernière classe au profit d'une simple déclaration, ce qui revient à la soumettre à des règles prudentielles exclusivement générales (celles « des dispositions législatives et réglementaires en vigueur ») par opposition aux règles particulières à l'établissement qu'une autorisation peut stipuler. Cet aménagement des trois régimes antérieurs marque une étape vers le dispositif d'aujourd'hui. Tout comme le décret de 1810, la loi de 1917 reposait sur une nomenclature pour son application, et c'est à cette loi que remonte le principe, toujours actuel, de l'établir par un décret en Conseil d'État.

(127) « Dans les vallées protégées par des digues, sont considérées comme submersibles les surfaces qui seraient atteintes par les eaux si les levées venaient à être rompues ou supprimées. Ces surfaces seront indiquées sur des plans tenus à la disposition des intéressés » (loi du 28/05/1858).

(128) Cette interprétation de la loi nous a été proposée lors d'une audition.

(129) Les géographes contemporains ont bien saisi que la mise en carte des risques obéissait à des objectifs autres de pure connaissance (par exemple Leone, Meschinet de Richemond et Vinet, 2010).

Depuis ces textes constitutifs jusqu'à nos jours, la législation et la pratique n'ont cessé d'accroître l'intervention de l'État dans le domaine des risques naturels aussi bien que technologiques. *La prévention s'est renforcée et systématisée* en ce qui concerne les deux risques, avec des méthodes plus étendues, plus scientifiques et plus exigeantes pour les parties impliquées. Des *obligations légales nouvelles* sont apparues, qui affectent particulièrement l'occupation des zones exposées, et en matière de risque technologique, on observe que le but visé ne semble plus tant d'éloigner les industriels des populations que de les faire cohabiter en limitant le danger. Naguère laissée à l'improvisation des autorités locales, la *gestion des accidents* se détache comme un objet de préoccupation à part entière. Enfin, ce qui est peut-être la plus grande nouveauté par rapport aux époques précédentes, le XX$^{e}$ siècle finissant a vu se former des *dispositifs d'assurance étendus*, adaptés aux deux classes de risque, qui impliquent l'État en même temps que le secteur privé.

Ces transformations, et d'autres encore, traduisent l'influence des catastrophes survenues, mais moins fréquemment, ou avec plus de médiations, qu'on ne le prétend d'ordinaire. L'image d'un législateur incapable d'anticiper, à la traîne des événements et soumis aux émotions populaires qu'ils suscitent, s'accorde mal avec un bilan séculaire détaillé. Dans ce qui suit, nous ne suivrons pas toutes les étapes écoulées, mais seulement les plus récentes, et ce bilan partiel suffit à remettre à sa place une idée trop simple.

Au cours des trente dernières années, l'esprit législatif et réglementaire enregistre un changement considérable, sans doute préparé par l'évolution antérieure. *La protection intégrale contre les risques majeurs apparaît de plus en plus comme une utopie stérile*. L'action publique se décentre alors des formes initiales de la prévention, matérielles et dirigées exclusivement contre l'aléa, vers d'autres formes, sociales et qui impliquent les enjeux et la vulnérabilité. Par un mouvement concomitant, l'action publique se diversifie en direction d'autres modes et, en particulier, découvre que l'assurance est possible en matière de risques majeurs. Enfin, et c'est une autre nouveauté, les trois dernières décennies voient se rapprocher les interventions sur les deux groupes de risques, naturels et technologiques. Apparu beaucoup plus récemment, et d'abord dans un contexte militaire qui le mettait à part, le risque nucléaire ne participe d'aucune manière à ces transformations.

### *3.1.2. Les grandes étapes contemporaines*

Dans ce qui suit, les abréviations « RN » et « RT » indiquent l'effet des dispositions légales ou institutionnelles sur un groupe de risques ou l'autre. La rencontre des deux mentions confirme le rapprochement expliqué de l'action publique sur les deux groupes.

#### 3.1.2.1. Création du ministère de l'Environnement (RN, RT)

L'année 1971 voit la création du ministère de l'Environnement, confié par le Président Pompidou à l'un des rares hommes politiques d'alors

qui s'intéressait à la question, Robert Poujade. Mince administration de quelques centaines de fonctionnaires, le nouveau ministère pouvait difficilement tenir tête à son grand rival de l'Équipement, mais il saura faire aboutir quelques mesures pour limiter la pollution, y compris auprès des grandes entreprises industrielles. Son rôle s'étoffera graduellement après le choc pétrolier de 1974, qui marque la fin de la croissance à tout va. En deux générations, le David de l'Environnement a si bien triomphé du Goliath de l'Équipement que cette dernière expression a disparu de l'appellation ministérielle.

#### 3.1.2.2. La loi de 1976 sur les installations classées et la directive européenne Seveso de 1982 (RT)

Une loi de 1976, qu'on rattache quelquefois, malgré le décalage temporel, à l'explosion de la raffinerie de Feyzin dix ans auparavant, modifie celle de 1917 en introduisant un concept nouveau, les *installations classées pour la protection de l'environnement* (ICPE)[130]. La section 2 a présenté les grandes lignes de ce texte, que nous pouvons maintenant comparer à son prédécesseur. La continuité nous semble l'emporter sur les innovations. En effet, la définition générale des ICPE, purement générale et qualitative, évoque directement celle des « établissements dangereux, insalubres ou incommodes » de 1917, alors que la nomenclature, toujours définie par le Conseil d'État, se voit confirmer dans le rôle essentiel de guider la décision pratique. La loi de 1976 sépare nettement le régime de l'autorisation et celui de la déclaration, et à l'intérieur du second, celui de l'autorisation avec servitudes, alors que la division ternaire de 1917 était plus graduelle et plus sommaire. La nomenclature est mise en conformité avec la définition des régimes, et le préfet conserve la prérogative de l'appliquer.

Parallèlement, un régime européen se mettait en place. L'accident de Seveso en Italie en 1976 donne son nom à la directive européenne de 1982, qui rend l'industriel responsable de la sécurité de ses installations, requiert des études de dangers et définit une nomenclature particulière des sites industriels à hauts risques[131]. La directive est moins contraignante que celles qui suivront en 1996 et 2012 (dites Seveso II et III).

#### 3.1.2.3. La loi de 1982 sur l'indemnisation des catastrophes naturelles (le régime « cat-nat », RN)

Pendant les années soixante-dix, l'idée s'était fait jour d'instaurer un régime de secours aux victimes des catastrophes naturelles, et après discussion, la classe politique semblait acquise à une modalité particulière, celle du fonds public spécialisé. Des inondations survenues à la fin de 1981 dans les vallées du Rhône et de la Saône, ainsi que dans le Sud-Ouest, relancèrent l'intérêt de cette solution, au point que le Gouvernement Mauroy en fit l'objet d'un projet de loi à l'Assemblée nationale. De manière inattendue,

(130) Loi n° 76-663 du 19/07/1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement.

(131) Directive 82/501/CEE du 24/06/1976.

sous l'influence du rapporteur Alain Richard, le projet vira en direction d'un système d'assurance original, impliquant les compagnies privées, l'État et la Caisse centrale de réassurance (CCR), laquelle relève des deux pôles, en tant que société anonyme entièrement détenue par l'État français[132]. Ce dispositif d'économie mixte est toujours en vigueur malgré quelques modifications ultérieures. Il est détaillé à la sous-section 2 et fait l'objet de plusieurs de nos préconisations.

En contrepartie de la garantie que l'État offre à la CCR et, par son intermédiaire, au régime entier, la loi de 1982 rend obligatoires les plans d'exposition aux risques naturels prévisibles[133]. Ils ont pour objet de délimiter les zones soumises à un ou plusieurs risques naturels et de réglementer les constructions nouvelles dans ces zones, et ils s'accompagnent d'instruments dissuasifs pour en freiner l'occupation. Ils annoncent les plans de l'étape ultérieure, qui seront plus approfondis et contraignants.

#### 3.1.2.4. La loi Barnier de 1995 et les perfectionnements du régime « cat-nat » (RN)

Loin de se limiter à une mesure particulière, la loi de 1982 instaurait un régime global pour répondre aux catastrophes naturelles (familièrement, « cat-nat »). Différentes étapes législatives ou réglementaires sont venues le compléter et en accentuer la nature systématique. L'outre-mer, que la loi de 1982 ne couvrait pas, en a bénéficié à partir de 1990. En 1995, une nouvelle loi, dite Barnier, en a renforcé largement le volet relatif à la prévention[134]. Tirant les conclusions des inondations de Nîmes (1988), de la Savoureuse en Franche-Comté (1990), de Vaison-la-Romaine (1992) et des grandes crues du Rhône de 1992 et 1993, cette loi instaure le *Fonds de prévention des risques naturels majeurs*, dit Fonds Barnier, destiné à financer une réduction de la vulnérabilité à ces risques. Il s'alimente par un prélèvement sur les primes du régime d'assurance créé en 1982. La loi de 1995 instaure aussi les *plans de prévention des risques naturels prévisibles* (encadré 3), qui valent servitude d'utilité publique, en lieu et place des plans d'exposition aux risques prévisibles de l'étape précédente, ainsi que d'autres documents qui partageaient leur fonction de délimiter les zones à risques. En 2003, une nouvelle loi encore, dite Bachelot, est venue préciser l'assurance des catastrophes naturelles et l'emploi du Fonds Barnier[135]. Surtout, elle étend aux risques technologiques les plans de prévention, de sorte que ce

(132) Loi n° 82-600 du 13/07/1982 relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles. Fondée en 1946, la CCR appuie par son activité de réassurance des interventions de l'État qui ne sont pas toutes liées aux risques majeurs.

(133) Tout au moins pour les inondations, une notion voisine de celle-ci préexistait dans le droit (les plans de surface submersibles, instaurés par le décret-loi du 30/10/1935).

(134) Loi n° 95-101 du 02/02/1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement.

(135) Loi n° 2003-699 du 30/07/2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages.

dispositif règle aujourd'hui le zonage des deux classes de risques, et elle leur transpose le régime d'assurance des risques naturels, ce qui unifie l'action publique par un autre côté.

### 3. Les plans de prévention des risques (RN, RT)

Un *plan de prévention des risques* (PPR) est une servitude d'utilité publique qui fait connaître les zones à risques et définit les mesures pour réduire les risques encourus. On distingue les plans de prévention des risques *naturels*, *technologiques* et *miniers*.

Ces documents visent principalement à maîtriser l'urbanisme, et ils imposent des contraintes qui vont de l'interdiction de construire à la possibilité de construire sous conditions. Quant aux bâtiments existants, ils leur imposent des mesures qui vont de l'expropriation ou du délaissement jusqu'aux mesures de protection simples.

Les PPR sont réalisés par les services déconcentrés de l'État dans un esprit de concertation. C'est le préfet qui les *prescrit*, c'est-à-dire en lance le projet sur un périmètre de risques désigné. Une fois qu'un document de PPR est disponible, le préfet le soumet à une enquête publique, puis, avec d'éventuelles modifications, l'*approuve*, ce qui lui donne sa portée juridique. Alors, le document vaut servitude d'utilité publique et, pour chaque commune du périmètre, il s'impose aux plans locaux d'urbanisme (PLU), qui le reprendront en annexe[1]. Un PPR se compose principalement de deux documents :

- un plan de zonage, issu du croisement des aléas (définis par la fréquence et l'intensité des phénomènes) avec les enjeux, qui fixe les zones constructibles, constructibles sous réserve d'aménagements particuliers et inconstructibles ;
- un règlement décrivant les contraintes de construction ou d'urbanisme à respecter dans chaque zone[2].

(1) Pour les risques naturels, le PLU (qui remplace le plan d'occupation des sols depuis 2000) doit identifier les zones à risques et réglementer les constructions dans celles qui sont exposées aux risques particuliers suivants : inondation, de tremblement de terre, éboulement, glissement de terrain ou crue torrentielle.

(2) Le PPR peut ainsi fixer la hauteur minimale du premier plancher d'une habitation nouvelle en zone inondable ou rendre obligatoire le renforcement des façades amont en zone d'avalanches.

#### 3.1.2.5. Les plans grands fleuves et la prévention des inondations (1990-2007, RN)

Au début des années 1990, l'aménagement de la Loire fit l'objet de contestations, et le ministre de l'époque, Michel Barnier, réunit dans une même discussion l'État, les collectivités territoriales, les associations de

défense de l'environnement et les riverains. En 1994, un comité interministériel arrêta le plan Loire grandeur nature pour une durée de 10 ans ; celui-ci entendait « concilier la sécurité des personnes, la protection de l'environnement et le développement économique ». Avec le même but de prévention, des *plans grands fleuves* suivront bientôt pour la Meuse (2003), le Rhône (2007), la Seine (2007) et la Garonne (2007). Leur financement implique à la fois l'État et les régions.

Après les graves inondations de 1999 à 2002, notamment dans l'Aude et la Somme, le ministère émet en 2002 une circulaire qui retient l'attention tout autant par ses principes généraux que par son contenu particulier(136). Après avoir discrètement souligné les limites des politiques antérieures, la circulaire demande que la prévention s'organise globalement au niveau des bassins versants et qu'elle ne se limite pas à des « infrastructures lourdes de protection en aval », mais veille à régler le débit en haut du bassin, ce qui force à « recréer des zones d'expansion de crue ». Par ailleurs, la circulaire demande en substance que la prévention s'oriente aussi vers les enjeux et la vulnérabilité, par exemple en favorisant la « conscience du risque dans la population » et en agissant par des moyens incitatifs sur les principaux acteurs. Non seulement ce document traduit les inflexions annoncées plus haut dans la doctrine technique de la prévention, mais il les rattache à une conviction essentielle : il convient de « prendre en compte le fait qu'aucune stratégie de prévention et de protection n'est capable de supprimer le risque ». L'action sur l'aléa pris à son origine, le travail sur la vulnérabilité, qui relève aussi de la gestion de crise, l'information et l'incitation des parties, toutes ces mesures, qui sont loin d'être exclusivement matérielles, s'accordent avec cette position sceptique fondamentale.

La circulaire de 2002 créait un outil réglementaire cohérent avec son orientation : le *programme d'actions de prévention des inondations* (PAPI), défini à une échelle moindre que celle des plans grands fleuves(137), et doté à la fois par l'État et les collectivités territoriales. La circulaire lançait aux préfets coordonnateurs de bassins un appel à susciter des projets chez les acteurs publics locaux. Entre 2003 et 2009, une cinquantaine de PAPI seront labellisés, pour un montant de près de 1 milliard d'euros. Ce dispositif s'est perpétué avec des aménagements.

(136) Circulaire du 01/10/2002 du ministère de l'Écologie et du Développement durable.

(137) Celle d'un bassin versant de surface éventuellement modeste.

### 3.1.2.6. Les lois de 1987 et 2004 sur la sécurité civile (RN, RT)

Après tant d'efforts consacrés à la prévention, il était temps d'aborder les risques majeurs sous l'angle de l'accident survenu, c'est-à-dire de la gestion de crise. Celle-ci reposait sur des dispositions de sécurité civile qui avaient introduit en 1952 les *plans ORSEC* (« organisation des secours »)[138]. Le but de ces plans, maintenus jusqu'à nos jours, est de prévoir, à l'avance de la catastrophe possible, un dispositif cohérent de mesures d'urgence qu'il suffirait d'appliquer si elle devait se produire effectivement. La cohérence provient de la direction unique, confiée au préfet, qui transmet ses instructions par une chaîne de commandement descendante et qui reçoit d'elle, en retour, des informations de terrain. En bout de chaîne, les interventions mobilisent la police et la gendarmerie, les sapeurs-pompiers, le service d'aide médicale urgente (SAMU), les associations de secours agréées, des personnels des administrations locales, éventuellement aussi des corps techniques de l'État. Les plans ORSEC ont la particularité supplémentaire de répartir uniquement les moyens existants au lieu de chercher à en rajouter.

La loi de 1987 réaménage les plans ORSEC après avoir revu les bases de la sécurité civile en la liant aux risques majeurs[139]. Elle emploie cette expression dans son titre même, et par là, en parachève la consécration juridique. Elle confirme l'autre tendance fondamentale du droit français, qui consiste à traiter ensemble les deux groupes de risques majeurs, naturels et technologiques. Il en va ainsi dans l'article, toujours en vigueur aujourd'hui, où elle énonce le droit des citoyens à « l'information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis dans certaines zones du territoire et sur les mesures de sauvegarde qui les concernent. Ce droit s'applique aux risques naturels et technologiques ». Sur le plan de l'organisation, la loi réserve les plans ORSEC aux « catastrophes », qu'elle distingue des « sinistres » ou des « accidents », et elle établit une hiérarchie entre les trois types de plans suivants : ORSEC nationaux, déclenchés par le Premier Ministre (ce type sera bientôt aboli), ORSEC zonaux[140] et ORSEC départementaux, confiés respectivement aux préfets de zones et de départements, pour l'élaboration comme pour le déclenchement (ces deux types sont toujours en place), enfin ORSEC maritimes. La loi de 1987 prévoyait un dispositif complémentaire, celui des *plans d'urgence*, qui sembleraient dévolus aux « sinistres » et aux « accidents », mais dont la place relativement aux plans ORSEC n'était pas si nette.

(138) Instruction interministérielle du 05/02/1952 sur l'organisation des secours dans le cadre départemental en cas de sinistre important.

(139) Loi n° 87-565 du 22/07/1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs.

(140) Il s'agit des *zones de défense*, qui ont à peu près la taille des régions sans coïncider avec elles.

Pour cette raison et d'autres, liées à des questions de financement, l'organisation de la sécurité civile a dû être repensée. La loi de 2004 reprend la question à la base, en se fondant sur une définition très large de la sécurité civile[141] : celle-ci « a pour objet la prévention des risques de toute nature, l'information et l'alerte des populations ainsi que la protection des personnes, des biens et de l'environnement contre les accidents, les sinistres et les catastrophes par la préparation et la mise en œuvre de mesures et de moyens appropriés relevant de l'État, des collectivités territoriales et des autres personnes publiques ou privées ». Dans un but de simplification, les réponses de sécurité civile s'organisent autour des plans ORSEC, dont la compétence n'est plus limitée aux « catastrophes », mais s'étend aussi aux « accidents » et aux « sinistres », ce qui revient à expulser la catégorie des plans d'urgence apparue en 1987. Toujours pour en généraliser l'emploi, le texte permet que les plans ORSEC comportent « des dispositions applicables en toute circonstance et des dispositions propres à certains risques particuliers ». Ces plans sont départementaux, de zones et maritimes, avec les mêmes responsables que précédemment, et ils doivent être élaborés et révisés au moins tous les cinq ans. Une autre disposition implique les communes qui sont couvertes par certains dispositifs approuvés (PPR ou PPI, voir ci-dessous) : elles doivent élaborer leur propre plan de sauvegarde.

D'autres dispositions de la loi de 1987 ont subsisté, en particulier celles qui créent les *plans particuliers d'intervention* (PPI) autour de certaines installations ou certains ouvrages[142], et celles qui, dans la suite directe de la loi Barnier de 1995, renforcent la maîtrise de l'urbanisme en fonction des risques naturels. Dans les années 1990, des textes réglementaires et un guide pratique ont fixé des *règles de zonage* autour des sites risqués (dans la zone de protection rapprochée, ZPR, les constructions sont interdites, et dans la zone de protection éloignée, ZPE, elles sont restreintes). Pareille démarche normative devait inévitablement faire naître des conflits avec les élus locaux, peu désireux de voir imposer des servitudes à leurs plans d'occupation des sols, et fâchés que leurs communes soient publiquement désignées comme dangereuses[143].

(141) Loi n° 2004-811 du 13/08/2004 de modernisation de la sécurité civile. Décret du 13/12/2005 pris en application de la loi précédente.

(142) Ces plans – à ne pas confondre avec les PPR de l'encadré 3 – préparent l'évacuation des personnes exposées si l'accident se produit, et ils doivent préciser les responsabilités des exploitants à cet égard. Ils concernent en pratique certaines installations classées pour la protection de l'environnement et les grands barrages. Ils sont aujourd'hui intégrés aux plans ORSEC départementaux.

(143) Voir Martinais (1996). Cet auteur fait aussi l'observation moins évidente que les élus pouvaient craindre que le zonage engendre un sentiment illusoire de sécurité chez leurs administrés.

### 3.1.2.7. La directive européenne Seveso II de 1996

Sous l'influence possible de nouveaux accidents spectaculaires, une nouvelle directive européenne, dite Seveso II, a été prise en en 1996[144]. Elle crée des obligations spéciales aux établissements industriels, qui ont été reprises en droit français par des dispositions réglementaires, dont la principale est un arrêté du 10 mai 2000[145]. Avec quelques modifications, ces textes sont toujours en vigueur. Nous avons expliqué à la section 2 comment ils avaient influé sur la nomenclature des installations classées. Comme l'indiquera la sous-section 2.2, ils ont aussi renforcé le rôle et précisé la nature des études de danger.

### 3.1.2.8. La loi Bachelot de 2003 (RN, RT)

Dans le cas d'espèce, il est certain qu'une catastrophe aura précipité une innovation législative. La première est l'explosion de l'usine AZF, le 21 septembre 2001 à Toulouse, dont nous avons évoqué aux sections 1 et 2 les dégâts humains et immobiliers, et la seconde est la loi que Roselyne Bachelot, alors ministre de l'Écologie et du Développement durable, fit voter en 2003[146]. Le texte crée les *plans de prévention des risques technologiques* (PPRT) en rapprochant leur fonctionnement de celui des plans de prévention des risques naturels (PPRN) déjà instaurés. Simultanément, il rattache ces nouveaux plans à la législation antérieure des installations classées. À la manière de la circulaire de 2002, dite aussi Bachelot, le texte insiste sur la concertation et l'information des parties. Autour des installations autorisées avec servitudes, les plus dangereuses suivant la classification nationale, il instaure des *comités locaux d'information et de concertation*[147]. Il s'agit là encore de favoriser une conscience plus claire des risques, et des réponses mieux anticipées aux accidents, sachant que ceux-ci ne peuvent pas ne pas se produire quelquefois. Dans le même esprit, la loi de 2003 crée l'*information acquéreur locataire*, qui oblige le vendeur (ou le bailleur) d'un bien situé dans une zone couverte par un PPR naturel ou technologique d'en informer par écrit son acquéreur (ou son locataire) et de lui signaler si des catastrophes naturelles ont été constatées.

(144) Directive 96/82/CE du Conseil du 09/12/1996 concernant la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses.

(145) Arrêté du 10/05/2000 relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.

(146) Loi n° 2003-699 du 30/07/2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages.

(147) Les comités locaux d'information et de concertation (CLIC) de la loi Bachelot sont calqués sur les comités locaux d'information (CLI) qu'une loi de 2006 avait instaurés autour des installations nucléaires de base (voir ci-dessous la section sur le risque nucléaire). La loi de 2010, dite Grenelle 2, reconduit les CLIC sous une autre appellation en permettant au préfet d'en instaurer autour des établissements relevant d'une autorisation simple.

Enfin, la loi de 2003 crée le *régime d'assurance des catastrophes technologiques*, en pendant à celui des catastrophes naturelles, et qui s'en inspire grandement. Il vise à défendre les victimes, en leur faisant verser tout de suite une indemnité par les compagnies d'assurance, à charge pour celles-ci de se retourner contre le responsable, et en leur évitant aussi les risques de non-identification ou d'insolvabilité de ce responsable. Le régime familièrement dit des « cat-tech » est repris à la sous-section 3 et il fera l'objet de certaines préconisations du rapport.

#### 3.1.2.9. La loi de 2006 sur les digues et les barrages

Parce qu'elles firent céder les digues, les grandes crues du Rhône, en 2002 et 2003, confirmèrent que le mauvais entretien des ouvrages créait un grave danger. Celui-ci paraissait d'ailleurs plus mal apprécié que d'autres, car la seule existence d'une digue, même fragile suffit à entretenir le sentiment de sécurité des riverains et, malheureusement quelquefois, à satisfaire l'administration. Quant aux barrages, des accidents célèbres, comme celui de Malpasset dans le Var en 1959, avaient montré qu'ils pouvaient aussi quitter leur rôle de protection pour devenir des causes de cataclysmes. Il apparut ainsi que la sécurité des digues et barrages devait être reprise. Jusqu'en 2006, elle s'appréciait au regard de la hauteur de l'ouvrage ou de son classement comme ouvrage intéressant la sécurité publique[148]. La loi de 2006 crée le classement déjà présenté (section 2.2.1) des barrages et digues en quatre classes (A, B, C et D), et un décret d'application précise le contrôle et les sanctions en cas de manquement à la sécurité[149].

### *3.1.3. Annonces et perspectives*

Notre ébauche historique vient de rejoindre l'état présent des institutions, mais d'autres évolutions s'amorcent déjà, et nous sélectionnerons quelques documents qui les annoncent. Les dernières directives européennes ont leur place ici en raison de leur caractère prospectif. Nous faisons un sort au discours présidentiel de La Roche-sur-Yon parce qu'il a un fort contenu technique et qu'il a ouvert des voies de réforme qui continueront d'être frayées au-delà de l'alternance politique.

#### 3.1.3.1. La directive européenne inondations de 2007 et la loi Grenelle 2 (RN, RT)

Les réunions tenues à Grenelle en 2007 au sujet de l'environnement débouchèrent en 2009 et 2010 sur deux textes de loi consacrés aux questions écologiques, dits Grenelle 1 et Grenelle 2. Le second effectue la transpo-

(148) Selon des critères définis par la circulaire du 06/09/2003 du ministère de l'Environnement, de l'Écologie et du Développement durable.

(149) Loi n° 2006-1772 du 30/12/2006 sur l'eau et les milieux aquatiques. Décret du 11/12/2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des barrages et des ouvrages hydrauliques.

sition d'une directive européenne de 2007 portant sur les inondations[150]. On lisait dans celle-ci le calendrier suivant d'études et de programmation. En premier lieu, il convenait d'achever avant décembre 2011 une évaluation préliminaire des risques d'inondation dans chaque district hydrographique (cette unité large peut englober plusieurs bassins, par exemple Rhin-Meuse ou Adour-Garonne). En second lieu, à partir de cette évaluation, il conviendrait de produire avant décembre 2013 des cartes de surfaces inondables qui précisent les limites des crues et quelques paramètres d'enjeux (nombre d'habitants et activités économiques touchés, installations devenues polluantes). En troisième et dernier lieu, grâce aux cartes produites, il conviendra d'établir, avant décembre 2015, des *plans de gestion des risques d'inondation* à l'échelle des districts hydrographiques. Ceux-ci doivent englober « tous les aspects de la gestion des risques d'inondation, en mettant l'accent sur la prévention, la protection et la préparation, y compris la prévision des inondations et les systèmes d'alerte précoce ». La directive prend les risques d'inondations au sens large (débordement, remontées de nappe, ruissellement, et même aux submersions des côtes).

Bien que ce ne soit pas son objet, la loi Grenelle 2 intervient brièvement sur les risques technologiques. Sa principale innovation consiste à faire entrer les éoliennes dans le champ des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), ce qui entraînera, en 2011, l'adjonction par décret d'une nouvelle rubrique à la nomenclature[151].

#### 3.1.3.2. Les réformes postérieures à la tempête Xynthia (RN)

Après la tempête Xynthia de février 2010, le Président Sarkozy affirmait, dans un discours solennel à La Roche-sur-Yon, que « rien ne (devait) plus être comme avant en matière de prévention des catastrophes naturelles »[152]. L'inondation du Var, en juin 2010, lui donna l'occasion de réitérer l'urgence des réformes. Le discours leur assigne plusieurs directions qui valent d'être énumérées :

- améliorer les systèmes d'alerte, qui n'ont pas complètement joué leur rôle ;
- faire que toutes les communes exposées aux risques naturels disposent enfin des plans de prévention des risques, et des plans communaux de sauvegarde, dont elles auraient dû être dotées[153] ;

(150) Loi n° 2010-788 du 12/07/2010 portant engagement national pour l'environnement (dite Grenelle II). Directive européenne 2007/60/CE du 23/10/2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation.

(151) Au même moment que les lois Grenelle 1 et 2, des textes réglementaires instaurent le nouveau régime de l'enregistrement pour les ICPE (particulièrement l'ordonnance n° 2009-663 du 11/06/2009).

(152) Déclaration de M. Nicolas Sarkozy, Président de la République, sur les actions en faveur des victimes de la tempête Xynthia, à La Roche-sur-Yon le 16 mars 2010. Voir http://discours.vie-publique.fr/notices/107000615.html

(153) La carence est très forte en matière de submersion marine (d'après le discours, sur 864 communes exposées, 46 seulement auraient un PPR approuvé).

- reprendre le système d'assurance des catastrophes naturelles de manière qu'il incite à la prévention et aux comportements responsables, ce qu'il ne réussit pas à faire actuellement ;
- rénover le réseau national des digues littorales et fluviales, qui est en décrépitude ;
- interdire désormais la construction derrière les digues.

L'administration a d'ores et déjà exploré certaines des pistes lancées par le chef de l'État. Nous y reviendrons en détail au stade du bilan (section 4).

#### 3.1.3.3. Mesures des années 2010-2012 (RN)

Des objectifs annoncés, les 1er et 4e et pouvaient sembler les plus urgents tout en étant, par leur nature technique, moins complexes à mettre en œuvre politiquement que les autres. On doit rattacher au 1er la réorganisation de la prévision des crues et de l'hydrométrie menée à partir de 2010-2011(154). Les services de prévision des crues vont passer de vingt-deux, qui dépendent d'administrations multiples, à une quinzaine qui se verront pratiquement tous rattachés à une direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement. Quant au 4e objectif, l'Administration a préparé un *plan submersions rapides, crues soudaines et ruptures de digues*, qui comporte en particulier 1 200 km de confortement d'ouvrages(155). En liaison avec ce plan, approuvé début 2011, le ministère diffusait un nouveau cahier des charges et appel d'offres pour les programmes d'actions pour la prévention des inondations (PAPI), dont la première vague remontait à 2002 (voir ci-dessus). Pour réaliser le 3e objectif, il convenait de préparer une nouvelle loi qui révise celle de 1982. En mai 2012, le Gouvernement Fillon déposa devant le Sénat *un projet de loi portant réforme de l'indemnisation des catastrophes naturelles*(156). Avec l'étude d'impact qui l'accompagne, ce document est une référence indispensable pour qui entend réformer le régime.

Indépendamment de ces développements, le ministère du Développement durable a lancé en 2012 un plan national pour la prévention des risques liés aux cavités souterraines, couvrant la période 2012-2015.

(154) Circulaire du 04/11/2010 du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, relative à l'évolution de l'organisation pour la prévision des crues. Voir le bilan provisoire d'application sur : http://www.developpement-durable.gouv.fr/Poursuite-de-l-evolution-de-l.html

(155) Voir http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Le_plan_submersion_rapide.pdf

(156) Projet de loi n° 491, session 2011-2012, enregistré à la Présidence du Sénat le 3 mai 2012.

#### 3.1.3.4. La directive européenne Seveso III de 2012 (RT)

La directive Seveso II, dont nous avons vu comment la France l'avait transposée, vient de faire place à une directive nouvelle, dite Seveso III[157]. Celle-ci était devenue inévitable après que le Parlement européen, puis le Conseil européen, eurent adopté un règlement, dit CLP (pour *Classification, Labelling, Packaging*), relatif aux matières dangereuses et à leur classification, étiquetage, empaquetage[158]. Le règlement s'accompagne d'une classification nouvelle des matières – ici dénommées substances et mélanges – qu'il range sous trois classes de dangers – physique, pour la santé, pour l'environnement. Comme il s'applique aux fabricants, il y avait lieu de revoir les classifications apportées par Seveso II, et c'est précisément le but de Seveso III. La nouvelle directive apporte cependant quelques autres nouveautés. Elle renforce l'accès des citoyens aux informations sur la sécurité, et elle les fonde à défendre leurs droits en justice quand un établissement Seveso s'installe près de leur domicile. Par une nouveauté intéressante, elle accepte de possibles dérogations pour tenir compte des incertitudes que le nouveau système CLP, ainsi que les évolutions technologiques futures, créeraient dans les classifications. La directive prévoit une transposition avant juin 2015, ce qui veut dire que la nomenclature française des installations classées devra être encore une fois réformée dans les années qui viennent.

### 3.2. Les mesures d'évaluation et de prévention des risques majeurs

Après avoir replacé dans leur cadre juridique et institutionnel les actions publiques sur les risques majeurs, nous chercherons maintenant à en cerner la réalité pratique et, suivant l'enchaînement naturel, commencerons par les mesures du type *ex ante*. Nous dirons seulement *évaluation* pour couvrir l'ensemble plus large des mesures qui reviennent à produire ou transférer de l'information relative aux risques sans chercher encore à les modifier. Sous ce chef, il s'agit donc, pour la puissance publique, non seulement de faire étudier des risques existants, mais aussi de faciliter la reconnaissance de risques nouveaux, de définir des indicateurs synthétiques et d'en surveiller les valeurs, d'informer le public ou ses représentants, de lancer des enquêtes ou d'ouvrir des débats. À ce bloc des mesures s'oppose celui de la *prévention*, que nous entendons au sens d'une transformation effective des choses.

La sous-section traite séparément les risques naturels et technologiques. Mais il faut rappeler que l'État les a pour partie unifiés en inscrivant les mesures de prévention qu'ils appellent dans les PPRN et PPRT. Ceux-ci visent à les réduire à la source, en modérant l'aléa quand cela est possible

(157) Directive 2012/18/UE du 04/07/2012 relative aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses.

(158) Règlement (CE) n° 1272/2008 du 16/12/2008 du Parlement européen et du Conseil européen. Le but de ce texte n'est pas seulement d'accroître la sécurité. Il vise encore à faciliter le commerce mondial des produits chimiques en transposant dans le droit européen un système de référencement déjà existant et approuvé internationalement.

et, plus encore, en diminuant la vulnérabilité, principalement par des restrictions à l'urbanisme (interdiction de construire dans les zones les plus exposées, mesures de réduction de vulnérabilité dans une plus large zone pour les constructions existantes). L'objectif premier des deux classes de PPR est de protéger les personnes, et non les biens. D'après la base Gaspar du ministère du Développement durable, au 23 janvier 2013, 3 602 communes présentaient un ou plusieurs PPRN ou assimilés prescrits, et 9 428 communes comportaient un ou plusieurs PPRN ou assimilés qui étaient approuvés(159). Puisqu'un plan peut concerner plusieurs communes à la fois, ces chiffres ne correspondent pas à leur nombre ; à cette même date, la base Gaspar en dénombrait 8 514, soit prescrits, soit approuvés. Nos données concernant les PPRT proviennent directement du ministère et remontent au 20 novembre 2012. À cette date, 384 communes présentaient un ou plusieurs PPRT prescrits et 287 communes disposaient d'un ou plusieurs PPRT approuvés. Toujours à cette date, 410 PPRT étaient prescrits ou approuvés, sur les 420 initialement prévus. Le retard qui avait accompagné la mise en place des PPRT serait ainsi comblé(160).

### *3.2.1. Évaluation et prévention des risques naturels*

Tout en présentant les risques naturels eux-mêmes, la section 2 indique les sources qui permettent de les apprécier, et ce faisant elle a implicitement traité de la partie scientifique et technique l'évaluation. Il nous suffira d'en retirer quelques enseignements transversaux. Nous avons vu que les outils de connaissance les plus importants étaient la base de données *Gaspar* et le logiciel polyvalent *Cartorisque*, grâce auquel on peut à la fois consulter des données et lire des cartes, celles-ci variant d'échelle de lecture au gré de l'utilisateur. Ces deux outils sont rigoureux tout en se prêtant à une utilisation réglementaire, et sous cet angle, ils contrastent avec les cartes des PPR, qui ont force réglementaire, mais dont la rigueur est contestable, car elles résultent d'une véritable négociation entre le préfet, les élus locaux et les services techniques du ministère. Sous l'angle opposé, les deux outils contrastent avec d'autres qui ont cours scientifiquement et qui rendent des services pratiques, mais à distance de l'usage réglementaire ; ainsi de certaines cartes météorologiques indispensables à l'étude des inondations ou des avalanches.

(159) Certains plans valent PPRN sans en être parce qu'ils entrent dans des catégories juridiques plus anciennes.

(160) Ce retard s'expliquait notamment par l'adoption d'une nouvelle réglementation sur les études de dangers, qui a nécessité de reprendre des études déjà réalisées. De plus, comme il arrive souvent en matière de risque, de nouvelles questions techniques survenaient au cours même des enquêtes et sous leur influence. La réticence des acteurs locaux, et particulièrement des élus, aura aussi joué son rôle.

Gaspar et Cartorisques couvrent les principaux aléas naturels, quoique le second n'appréhende pas encore suffisamment les inondations, mais des outils spécialisés par aléa viennent les compléter. Il s'agit à nouveau soit de bases de données, soit de cartes, soit d'instruments de consultation mixtes. À la section 2, nous avons illustré les atlas de zones inondables (carte 1), les cartes de sécheresse (carte 2), celles du risque sismique (carte 3) et celles du risque de feux de forêt (carte 4). Si les cartes de sécheresse ne servent encore qu'à informer sur le risque en question, avec d'ailleurs la part d'incertitude considérable qui lui est inhérente, les autres sont destinées à l'utilisation réglementaire. Ainsi, les atlas de zones inondables fournissent la base objective à partir de laquelle s'élaborent, avec la fidélité variable qu'on a dite, les PPRN inondations. La carte sismique et celle des feux de forêts définissent des zonages auxquels s'appliquent des normes de construction et des règles d'urbanisme,

Ces travaux scientifiques et techniques vont au-delà de la collecte et de l'exploitation des données passées, car, en prenant appui sur elles, ils visent à représenter le risque lui-même, au moins dans sa composante d'aléa. Le risque cyclonique apparaît quelque peu négligé, ce qui s'explique par l'incertitude spatiale et temporelle qui l'entoure sur le territoire métropolitain. On transformera difficilement la carte et la chronique des tempêtes passées en une représentation prospective qui se compare à celle des risques précédemment nommés.

À côté de l'aléa, les enjeux et de la vulnérabilité appellent aussi leur évaluation scientifique et technique. Le traitement des enjeux relève d'abord de la géographie humaine et, si on les étend au milieu naturel, de l'écologie, puis de la comptabilité nationale et de l'économie, qui fournissent les valeurs socio-économiques associées. Le traitement de la vulnérabilité relève de ces disciplines encore, mais il contraint à des enquêtes de terrain plus poussées, en particulier si l'on veut reconnaître la qualité des constructions. Toutes ces informations commencent à être synthétisées dans des bases de données et des cartes, à la manière de ce qui existe pour les aléas, mais avec un décalage très sensible dans le temps. La directive européenne de 2007 sur les inondations joue un rôle d'impulsion décisif concernant ce risque particulier. Le travail qui s'effectue sur lui pourra être utilisé en partie sur les autres, car si une carte parvient à localiser les populations et les biens inondables, on peut aussi bien la superposer à une autre carte d'aléa que celle d'inondation. Il reste que la cartographie qui se prépare se limite aux bassins hydrographiques et à une partie du littoral, et qu'elle devrait être complétée d'efforts comparables pour d'autres parties du territoire.

La *surveillance* des risques naturels repose logiquement sur ces différents préalables scientifiques et techniques. D'une part, les bases de données et les cartes indiquent les zones à risques, et d'autre part, les études qui les accompagnent révèlent les causes ou les corrélats qui peuvent servir d'indicateurs avancés. Parmi tous les risques naturels, celui d'inondation se traite le plus facilement à ces deux égards, et nous nous concentrerons sur lui dans

le reste de cette sous-section. Les services de prévision des crues – en voie de concentration comme il a été dit – surveillent en permanence les précipitations et l'écoulement des rivières alimentant les cours d'eau dont ils ont la charge. Le service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision des inondations coordonne ces unités et il assure, avec Météo-France, une veille à tout instant des bassins rapides(161).

De la surveillance on passe tout naturellement à l'information du public et aux procédures d'alerte qui précèdent la crise éventuelle. En ce qui concerne les inondations, *Vigicrues* met en consultation une carte nationale des cours d'eaux, chacun étant affecté d'une couleur (vert, jaune, orange, rouge) en fonction du degré d'alerte requis. Ce site fournit de plus un bulletin d'information national et des bulletins locaux avec quelques prévisions chiffrées. Par ailleurs, Météo-France et le service de prévision des crues proposent d'autres cartes de vigilance à l'échelle départementale(162). Actualisées deux fois par jour, elles informent sur les inondations (en distinguant les pluies-inondations, les inondations, les vagues-submersions), ainsi que sur d'autres risques météorologiques – neige-verglas, vents violents, orages. Après les inondations du Var en 2010, le Président de la République a contesté le bon fonctionnement de l'alerte, mais si une défaillance a eu lieu, elle aura été de nature humaine et non pas technique, venant d'un recours insuffisant aux indicateurs, et non pas de ces indicateurs mêmes(163).

Différentes raisons convergent pour faire du risque d'inondation un cas plus favorable en matière de surveillance. Tout d'abord, les mécanismes physiques des crues et du ruissellement sont élémentaires, et les paramètres à estimer ou simuler sont évidents et peu nombreux, ce qui réduit le travail de l'ingénieur et lui permet d'assez bonnes prévisions(164). Il n'en va pas de même pour les séismes et les éruptions volcaniques, dont la physique fondamentale est complexe, et si les mouvements de terrain ne semblent pas poser de problèmes théoriques majeurs, les paramètres qui les influencent ne se mesurent pas facilement, ce qui rend délicat de les modéliser, et encore plus de les prévoir. De la sorte, la surveillance de ces risques ne peut être aussi complète que celle des inondations, malgré tous les efforts consentis par les services techniques. Par exception, les retraits côtiers et les rares mouvements lents constatés à l'intérieur du territoire font l'objet d'une surveillance intégrale, et les avalanches, qui tendent à se reproduire

(161) Par ailleurs, depuis 2011, un site d'information grand public de Météo-France, *Pluies extrêmes* (http://pluiesextremes.meteo.fr/), développé avec le soutien du ministère du Développement durable, recense les pluies de 24 et de 48 heures les plus remarquables observées en France métropolitaine sur la période 1958-2011.

(162) Voir http://france.meteofrance.com/vigilance

(163) Déclaration faite à Draguignan le 21 juin 2010 à la suite des inondations survenues dans le Var le 15 juin.

(164) Une réserve est cependant apparue lors d'une audition : les remontées de nappe, qui sont une troisième cause d'inondation, offrent plus de résistance à l'analyse que les crues et le ruissellement, et les modélisateurs préfèrent souvent les négliger purement et simplement.

avec des fréquences variables, mais dans les mêmes lieux, sont aussi bien surveillées (voir les précisions à la section 2).

C'est, peut-on dire, un autre avantage des inondations qu'un délai s'écoule normalement entre les précipitations inhabituelles ou, tout au moins, leur prévision par l'institut météorologique et la réalisation de l'aléa lui-même. Le délai s'étend avec les inondations de plaine et se contracte avec les inondations torrentielles ou méditerranéennes, mais il permet souvent d'organiser l'information du public, son alerte et certaines mesures immédiates de protection. Une inondation centennale à Paris tomberait à cet égard dans le cas favorable, car elle ne peut résulter que de la coïncidence de crues multiples réparties sur un vaste bassin, et l'on peut espérer que les mécanismes d'anticipation jouent alors pleinement leur rôle(165). Rien de comparable ne se présente avec les séismes, les autres mouvements de terrain rapides et les éruptions volcaniques. Les scientifiques ne s'accordent pas sur les signes avant-coureurs de ces événements, et ils ne savent pas fixer les délais qui les séparent de la réalisation. Si ces phénomènes sont récalcitrants aux procédures de surveillance et d'alerte, c'est donc aussi à cause de l'indétermination temporelle, et celle-ci fait un nouveau contraste avec le risque d'inondation.

La surveillance d'un risque majeur n'est qu'un aspect de l'évaluation définie au sens large, et toujours à propos des inondations, nous reprendrons le sujet à la sous-section 4.2.1 de manière plus critique. Il apparaîtra que le traitement scientifique antérieur à la surveillance et à la prévision laisse à désirer, parce qu'il relève d'outils d'analyse trop nombreux et pourtant relativement incomplets. Ce diagnostic ne contredit pas le fait que les inondations soient, parmi tous les risques majeurs, un objet privilégié de l'action publique, car il met en évidence la mauvaise coordination des efforts et non pas leur insuffisance.

Nous avons déjà touché aux *mesures préventives*, soit au cours de la section précédente, soit dans certains développements institutionnels de celle-ci (3.2). Les inondations constituent à nouveau le cas d'étude principal. Traditionnellement, la prévention de l'aléa consiste à aménager par des ouvrages le cours d'eau qui est susceptible d'entrer en crue, mais la politique actuelle, notamment depuis les plans grands fleuves des années 1990, est de les étendre au bassin versant tout entier, en créant des ouvrages sur les affluents et, surtout, en acceptant la crue et en la diffusant par des zones d'expansion. Les derniers travaux que l'Île-de-France ait mis à l'étude pour se protéger comportent justement, à côté de nouveaux barrages et retenues, la restauration du champ d'expansion de La Bassée, au confluent de la Seine et de l'Yonne, qui avait joué un rôle modérateur en 1910 et s'est trouvé altéré depuis(166). Malheureusement, ces travaux en sont toujours au stade de l'avant-projet bien que les études aient commencé dans le courant des années 2000.

(165) Cette précision nous vient encore des experts auditionnés.

(166) Voir http://www.debatpublic-crueseinebassee.org

La prévention de la vulnérabilité aux inondations repose avant tout sur la maîtrise de l'urbanisme. Les ajustements pratiques à la construction jouent un rôle comme ils l'ont toujours fait, et il est utile aussi de défendre les infrastructures de transport ou de réseau contre l'envahissement des eaux, mais *ces mesures légères ne sauraient se substituer à une politique visant à libérer des constructions les zones qui sont inondées de façon grave et récurrente*. Or, quand il s'agit de vulnérabilité aux inondations, l'outil principal de l'action publique est le PPRN, et celui-ci ne joue pas correctement son rôle, parce qu'il repose sur une négociation qu'on peut dire politique entre les différentes parties intéressées à sa réalisation(167). La Cour des comptes a démontré les vices du système après la tempête Xynthia et les inondations du Var, et ses résultats sont corroborés par d'autres observations locales qui proviennent des services techniques.

Ainsi, la démarche préventive en matière d'inondations n'est pas à la hauteur des efforts qui lui sont officiellement consacrés. Il est à craindre que, l'action publique butant sur l'obstacle en matière de vulnérabilité, elle ne se déséquilibre en recherchant des mesures de plus en plus coûteuses pour agir sur l'aléa. Comme les contraintes budgétaires empêcheront que celles-ci aboutissent dans des délais acceptables, la politique entière de prévention menace de se déliter. Les travaux projetés en amont de l'Île-de-France témoignent ici doublement – et de l'option prise en faveur des aménagements lourds, et de la difficulté présente à les financer.

Parmi les autres risques naturels, certains autorisent à mitiger l'aléa : c'est le cas des retraits côtiers, d'autres mouvements de terrain et des feux de forêts. Il se trouve que les actions les plus efficaces sur l'aléa coïncident souvent avec des actions sur la vulnérabilité. À la section 2, nous avons donné l'exemple de la route qui suit le cordon littoral de l'étang de Thau ; sa reconstruction en arrière de la mer aura servi à la préserver tout limitant l'érosion par la mer qui contribuait à la détruire. L'enjeu était ici un facteur activant de l'aléa. Cette configuration désavantageuse se retrouve dans d'autres cas de recul côtier, en partie dus à des aménagements touristiques intempestifs, et elle n'est alors pas surmontée du tout, soit que les moyens budgétaires manquent, soit que les acteurs locaux s'opposent. Les constructions effectuées dans les zones boisées incendiables représentent la même combinaison de vulnérabilité accrue et de renforcement de l'aléa.

Les risques sismiques et volcaniques se démarquent des précédents pour autant qu'ils ne permettent d'agir que sur la vulnérabilité. Les seconds ne se prêtent guère qu'à la surveillance et aux mesures d'urgence ou préparatoires à l'urgence, mais les premiers appellent une vraie politique de prévention, et la France n'est pas en reste à cet égard. Depuis une trentaine d'années, les pouvoirs publics imposent des normes parasismiques aux constructions nouvelles et aux réfections lourdes de bâtiments anciens. Ces normes ont été rénovées en 1998, puis en 2010, sous l'influence de dispositions

(167) Billet (2000) faisait déjà cette observation critique.

européennes et du plan séisme national, étalé sur 2005-2010, qui aura permis de perfectionner les outils d'évaluation, de réviser le zonage, d'informer les professionnels et, justement, de reprendre les normes[168]. Il s'est ajouté, sur la période 2007-2013, un plan séisme Antilles, qui comportait des travaux matériels de prévention importants[169].

Quoique sa gravité soit sans commune mesure, le risque de retraits et gonflements des argiles n'est pas sans rapport avec le risque sismique, parce qu'il n'autorise que des actions sur la vulnérabilité et que celles-ci prennent la forme de contraintes imposées à la construction plutôt qu'aux plans d'urbanisme. On répond à ce risque en approfondissant les fondations des bâtiments, de manière spatialement homogène, et en rigidifiant les bâtiments eux-mêmes[170]. Certaines règles d'abstention s'appliquent, par exemple concernant les drains et les plantations autour du bâtiment, parce que ceux-ci provoqueraient de l'humidité en sous-sol. Le risque étant nouveau dans la perception collective et l'action publique, il a donné lieu plus tardivement que les autres à une évaluation scientifique et technique. Confiée au Bureau de recherches géologiques et minières, elle a débouché sur une cartographie départementale qui sert actuellement à la définition de PPR. Le modèle retenu pour ce document contraint significativement la construction des maisons individuelles, qui sont l'objet de la plupart des sinistres. Le propriétaire dont le terrain se situe dans une zone que le PPR déclare exposée peut commander une étude géotechnique de ce terrain ; celle-ci tranchera de la réalité ou non du risque et, en cas de réponse positive, fera des stipulations. Si le propriétaire ne choisit pas ce moyen, il doit appliquer les mesures constructives par défaut que le PPR prévoit. Organisée une nouvelle fois autour de cet outil juridique, la démarche préventive de la sécheresse paraît bien conçue, mais elle est trop récente pour que nous puissions juger de son efficacité.

### *3.2.2. Risques technologiques*

L'instrument central d'évaluation des risques technologiques est l'*étude de danger*, qui incombe à l'exploitant d'une installation classée pour la protection de l'environnement. À la section 1, nous avons dit comment

(168) Les décrets du 22/10/2010 fixent le nouveau zonage et les nouvelles normes. Les bâtiments sont divisés en risque normal et risque spécial (les installations Seveso, par exemple, entrent dans ce groupe). Des contraintes s'appliquent à tous les bâtiments à risque spécial et aux bâtiments à risque normal situés dans une zone de niveau 2 à 5 (sismicité de faible à forte).

(169) Le plan visait à renforcer ou reconstruire les bâtiments essentiels à la gestion de crise, comme les casernes de pompiers, les établissements de santé, les infrastructures de transport et de communication, les bâtiments scolaires et le logement social.

(170) Les chaînages (éléments de construction en béton armé qui solidarisent les parois et les planchers d'un bâtiment) sont particulièrement importants. Si deux éléments de construction sont accolés et fondés de manière différente, ils doivent être désolidarisés et munis de joints de rupture sur toute leur hauteur.

cet instrument avait évolué, en faisant une part grandissante au point de vue probabiliste, que la doctrine française des risques majeurs négligeait initialement.

Les mesures de prévention dirigées contre l'aléa suivent plusieurs principes généraux : réduction de la quantité produite, transformation de l'activité, fractionnement ou éloignement des différentes structures afin d'éviter les effets domino. Nous ne développerons pas ces mesures, car elles se particularisent en fonction des installations, qui sont extrêmement diverses, ainsi que la section 2 l'a illustré. En revanche, nous décrirons succinctement les mesures de prévention qui permettent de réduire la vulnérabilité des populations en fonction des effets dangereux dus à ces activités, selon qu'ils sont thermiques, de surpression ou toxiques.

Afin de réduire la vulnérabilité des personnes aux *effets thermiques*(171), il est possible d'agir sur le bâti, existant ou neuf, en ajoutant des matériaux de protection non inflammables, en remplaçant ou protégeant les matériaux combustibles par des matériaux non combustibles, en protégeant les structures métalliques du flux thermique. Contre les *surpressions*(172), les mesures de protection des personnes ne sont possibles que pour un aléa d'intensité limitée. Il s'agit d'actions de renforcement : pose de vitrages feuilletés, filmage des vitres, renforcement des ancrages des cadres des ouvertures extérieures. Enfin, pour réduire la vulnérabilité des populations aux *effets toxiques*(173), il ne se présente que le déplacement ou le confinement. Celui-ci consiste à mettre à l'abri les personnes exposées dans un local fermé à l'air ambiant, de manière à limiter les doses de polluant qu'elles absorberaient. La mesure s'achève avec la dissipation des effets toxiques ou une évacuation par les services de secours. Elle suppose évidemment que les bureaux et les logements, ou sinon des locaux spécialisés, se trouvent dans l'état d'étanchéité convenable, ce qui induit des ajustements à la construction encore différents de ceux que nous venons de voir.

(171) Les *effets thermiques* sont liés à la combustion plus ou moins rapide d'une substance inflammable ou combustible. Les sites industriels concernés sont par exemple les raffineries, les dépôts d'hydrocarbures liquides, d'hydrocarbures lourds ou de gaz de pétrole liquéfié, de gaz liquéfiés inflammables.

(172) Les *effets de surpression* résultent d'une onde de pression (déflagration ou détonation en fonction de la vitesse de propagation de l'onde de pression), provoquée par une explosion. Celle-ci peut être issue d'une réaction chimique violente, d'une combustion violente, d'une décompression brutale d'un gaz sous pression. Les sites industriels concernés sont par exemple les raffineries, les usines de fabrication d'engrais, les dépôts d'hydrocarbures liquides, de gaz de pétrole liquéfié ou de gaz liquéfiés inflammables.

(173) Les *effets toxiques* résultent soit d'une fuite sur une installation, soit du dégagement d'une substance toxique issue d'une décomposition chimique lors d'un incendie ou d'une réaction chimique. Les sites industriels concernés sont par exemple les raffineries, les sites de production de chimie fine, les installations de réfrigération contenant de l'ammoniac, les dépôts de produits agro-pharmaceutiques ou d'engrais à base de nitrate.

### 3.3. L'indemnisation des dommages et l'assurance en matière d'aléas naturels

Après les actions publiques d'évaluation et de prévention, nous exposerons celles qui concernent l'indemnisation des dommages et les systèmes d'assurance qui y pourvoient. Cette sous-section traite des risques naturels majeurs, et la suivante des risques technologiques majeurs. Les régimes d'assurance en forment les objets respectifs principaux. Il est nécessaire de les traiter séparément, car même si le législateur les a unifiés jusqu'à un certain point, ils préservent une dissimilitude essentielle : le premier ignore la responsabilité civile pour réparer les dommages, alors que l'autre s'est développé complémentairement à elle.

#### *3.3.1. Le régime d'assurance des catastrophes naturelles*

Les *dommages aux personnes* résultant d'un phénomène naturel entrent dans le champ d'application normal de la Sécurité sociale, ainsi que des complémentaires santé ou d'autres formes d'assurance facultative. Dans ce dernier groupe, le contrat de garantie des accidents de la vie, créé en 2003, couvre les dommages corporels en dehors des accidents d'automobile, et il s'applique, par des stipulations explicites, aux catastrophes naturelles, aux catastrophes technologiques et au terrorisme. Selon les assureurs, ce contrat est largement diffusé(174). Quant aux accidents mortels, ils relèvent de l'assurance-vie ordinaire.

Les *dommages aux biens* résultant d'un phénomène naturel relèvent de dispositions spécifiques, outre les dispositions générales. Ainsi, la législation française a la particularité de traiter dissymétriquement les deux classes de dommages(175). En ce qui concerne les dommages aux biens, elle a la particularité supplémentaire de distinguer entre les risques naturels suivant qu'ils dépendent exclusivement de l'assurance commerciale ou du régime mixte de l'assurance des catastrophes naturelles. De celui-ci, nous connaissons déjà la genèse législative, et nous allons maintenant énoncer les principes, puis le fonctionnement.

Le régime est *intermédiaire entre l'assurance obligatoire et l'assurance facultative*, et plus précisément, il les combine de la manière suivante. Toute personne juridique – particulier, entreprise, collectivités territoriales – qui souscrit un contrat d'assurance ordinaire contre les dommages aux biens est aussi couverte contre les catastrophes naturelles. Le supplément de couverture constitue une obligation de l'assureur, qui doit le proposer, et de l'assuré, qui ne peut s'y soustraire. Il donne lieu à une garantie supplémentaire, avec une prime afférente, qui vient s'ajouter à celles du contrat de base. L'obligation de la garantie contre les catastrophes naturelles est ainsi conditionnelle à l'existence de contrats préalables ; il s'agit, principalement, des

(174) En juin 2010, 6 millions de personnes étaient assurées à ce titre, ce qui représentait un encaissement de 480 millions d'euros de primes annuelles (Pénet, 2011).

(175) Cette dissymétrie nous a été plusieurs fois rappelée pendant les auditions.

contrats multirisques habitation (MRH) et multirisques entreprise (MRE), qui sont très largement souscrits bien que non obligatoires, ainsi que des contrats véhicules terrestres à moteur[176]. La garantie catastrophes naturelles couvre exactement les mêmes biens que le contrat de base ; il s'agit donc principalement de bâtiments à usage d'habitation ou professionnel, avec leur mobilier et leurs matériels[177], ainsi que de véhicules terrestres à moteur.

À la garantie supplémentaire correspond une surprime, qui est assise sur la prime du contrat de base avec un taux uniforme sur tout le territoire : soit 12 % pour un contrat multirisques habitation ou entreprise et 6 % pour un contrat véhicule terrestre à moteur. En imposant l'unicité de la surprime en sus de l'obligation conditionnelle déjà indiquée, le législateur manifeste qu'il veut *introduire la solidarité nationale dans le régime d'assurance des catastrophes naturelles*. Pour autant que l'obligation conditionnelle est en pratique réalisée, un grand nombre de citoyens participent à la réparation des dommages, et chacun d'entre eux s'acquitte d'un montant qu'on peut supposer croissant avec sa richesse (la valeur des biens assurés en est un indice grossier). La justification théorique de la solidarité tient dans la répartition inégale des catastrophes naturelles à la fois dans le temps et dans l'espace, qui les rendraient *inassurables par les compagnies* (ou, tout à moins, assurables par elles moyennant des primes exorbitantes). Le Code des assurances mentionne aujourd'hui le critère de non-assurabilité pour reconnaître les dommages dus à une catastrophe naturelle. Curieusement, la loi de 1982 l'ignorait et son rôle n'est devenu évident que par la pratique ultérieure[178]. Il a permis à l'État de limiter la propension du régime à s'étendre, en équilibrant les demandes des victimes de phénomènes naturels, toujours promptes à se prévaloir de la nature catastrophique de ces phénomènes, et celles des assureurs, qui préfèrent maintenir certains risques naturels dans leurs contrats de base ; les contraintes budgétaires, liées à la garantie de l'État que nous allons expliquer, ont aussi joué. Comme principale nouveauté, la sécheresse géothermique est venue rejoindre les inondations parmi les catastrophes naturelles indemnisées. Depuis cette adjonction, la frontière avec les risques naturels ordinaires est restée stable, et notamment, malgré certaines pressions, les incendies et les risques de tempête, grêle et neige n'ont pas quitté la dernière classe de risques.

(176) Uniquement si les dommages à ces véhicules sont assurés, la responsabilité civile ne suffisant pas.

(177) Le bétail en étable et les récoltes engrangées font partie des matériels. Le bétail hors étable et les récoltes non engrangées font l'objet d'une autre couverture, celles des risques agricoles (voir ci-dessous).

(178) C'est depuis 1992 seulement que le Code des assurances fait figurer les mots « non assurables » dans la définition des effets produits par les catastrophes naturelles (loi n° 92-665 du 16 juillet 1992 portant adaptation au marché unique européen de la législation applicable en matière d'assurance et de crédit).

Suivant un autre principe fondamental, l'assurance des catastrophes naturelles *fait intervenir l'État aux côtés des compagnies*, ce qui constitue le régime en cas d'école de l'économie mixte. Les législateurs de 1982, et en particulier le rapporteur Alain Richard, l'avaient explicitement conçu comme tel. Ils ont fait valoir qu'une collaboration du public et du privé serait plus fructueuse qu'un laisser-faire intégral (généralement considéré comme insuffisant à cause de la taille du risque) et que la pure intervention (d'abord privilégiée, sous la forme d'un fonds d'indemnisation dévolu). L'État intervient au travers de la Caisse centrale de réassurance (CCR), société anonyme dont il est actionnaire à 100 %. Cet organisme soutient les assureurs privés qui proposent la garantie catastrophes naturelles en les faisant bénéficier de contrats de réassurance avantageux, et il a cette faculté parce que les pouvoirs publics le garantissent par une convention spéciale. La CCR peut solliciter l'intervention financière de l'État dès lors que 90 % des provisions d'égalisation et réserves spéciales qu'elle a constituées au titre des catastrophes naturelles deviennent nécessaires pour qu'elle indemnise une année de sinistres tombant sous ses obligations contractuelles. Les assureurs ont la possibilité légale de se tourner vers d'autres sociétés de réassurance que la CCR, mais en pratique ils le font rarement. Parce qu'elle est à leur contact effectif tout en étant liée à l'État garant, elle apparaît comme la pierre angulaire de tout le régime d'indemnisation.

Après avoir résumé les principes du régime, nous allons maintenant décrire son fonctionnement.

### *3.3.2. Délimitation des catastrophes naturelles et des autres risques naturels*

Le Code des assurances, en son article L. 125-1, propose une définition très générale des catastrophes naturelles ou plutôt des dommages qu'elles provoquent : « Sont considérés comme les effets des catastrophes naturelles les dommages matériels directs non assurables ayant eu pour cause déterminante l'intensité anormale d'un agent naturel, lorsque les mesures habituelles à prendre pour prévenir ces dommages n'ont pu empêcher leur survenance ou n'ont pu être prises ». Comme il n'existe nulle part de liste des catastrophes naturelles ayant valeur légale, l'article précédent fonde à lui seul le régime d'assurance des catastrophes naturelles, et l'on dit que ce régime est *à péril non dénommé*. La France est l'un des rares pays à traiter ainsi la question.

Suivant la procédure d'indemnisation, le maire qui veut en faire bénéficier ses administrés adresse une demande au préfet en même temps qu'un dossier pour l'appuyer. Le préfet complète éventuellement le dossier et le transmet au ministère de l'Intérieur, qui préside une commission interministérielle chargée de l'évaluer en fonction de l'ensemble des données scientifiques. En cas d'avis favorable de la commission, l'état de catastrophe naturelle est constaté par un arrêté interministériel, signé par les trois ministres de l'Intérieur, de l'Économie et du Budget, et les assurés de la

commune voient alors s'ouvrir leurs droits à l'indemnisation[179]. Au centre de la procédure, la commission interministérielle développe une jurisprudence par laquelle les catastrophes naturelles se distingueront parmi tous les phénomènes naturels dommageables.

La jurisprudence de la commission est à l'origine du critère de non-assurabilité des dommages, que la législation en est venue à expliciter à son tour, et elle l'applique en se fondant sur une condition au moins nécessaire : *les dommages doivent revêtir un caractère localisé sur le territoire national*. Aux yeux de la commission et des assureurs, les dégâts causés par les cyclones et les tempêtes ne remplissent pas la condition en métropole alors qu'ils la remplissent outre-mer ; de là provient l'implication différente du régime dans un cas et dans l'autre. En revanche, les inondations, les mouvements de terrain quels qu'ils soient, les séismes, les avalanches, les éruptions volcaniques n'affectent qu'une partie du territoire, et la Commission a choisi de ranger ces aléas dans le type non assurable.

La liste de phénomènes naturels est ici la même qu'à la section 2, où nous avons réuni sur eux quelques données géographiques pertinentes. Elles confirment que certains ont des effets localisés et d'autres pas, mais aussi que les cyclones et tempêtes en métropole constituent un cas intermédiaire. Il apparaît que la décision de les traiter comme s'ils avaient des effets non localisés, donc de les repousser hors du régime, est discutable sur le fond. Elle s'explique en fait par les tâtonnements historiques de ce régime ainsi que par les contraintes budgétaires[180]. Il n'y a pas de doute, en revanche, que le critère de localisation vaut pleinement pour la sécheresse géothermique, ce qui a rendu facile de l'intégrer au régime en 2003. Les spécialistes ont débattu de cette décision financièrement lourde avec des conclusions variables. À cet égard, nous mettrons en évidence une singularité de l'article L. 125-1 qui n'est pas toujours appréciée : il ne parle d'intensité anormale que pour *l'agent naturel* et non pas pour *les effets* qu'il produit. Prise littéralement, la loi ouvre donc à l'indemnisation tous les dommages qui ont un lien causal suffisamment direct avec l'agent naturel d'intensité anormale, même si, par eux-mêmes, ils ne comportent rien de catastrophique. Sur cette base, l'État était tenu d'étendre les indemnités sécheresse à de faibles perturbations subies par les immeubles, comme il est effectivement – et coûteusement – arrivé. Si l'on suit notre analyse, le débat sur l'inclusion de la sécheresse géothermique doit remonter jusqu'à la loi elle-même, peut-être abusivement généreuse par un défaut de formulation.

(179) Les assurés (et eux seulement) ont dix jours pour faire parvenir un état estimatif des dommages à l'assureur, qui doit les indemniser en trois mois. La brièveté du délai imparti à l'assureur vise à faciliter le rétablissement de situation de la victime. Son inconvénient est de rendre incommodes les contrôles de l'assureur, qui de fait sont presque inexistants.

(180) Nous nous appuyons sur les auditions préalables, les aerticles recueillis dans FFSA (2000 et 2012) et l'historique de Bidan (2001).

Le tableau 5 détaille les champs respectifs des risques assurables et non assurables en pratique pour les bâtiments et mobiliers. Il fait apparaître des intermédiaires complexes dans l'application du critère. Ainsi, le régime n'a pas indemnisé les tempêtes de 1999 et les tornades d'Haumont en août 2008 en tant que telles, mais au titre des inondations causées par le vent, dont la commission avait reconnu l'intensité anormale. L'ensemble répond mal aux considérations théoriques développées récemment sur l'assurabilité[181].

Le tableau 6 dénombre les principales catastrophes naturelles en France et leur coût financier, concernant les seuls dommages aux biens. Les *inondations* et les *retraits et gonflements des argiles* dominent largement cette liste.

Certains risques sont exclus du régime pour la simple raison qu'ils sont d'origine anthropique. C'est le cas des ruptures de barrage[182], des mouvements de terrain dus à des cavités minières (encadré 4). Le régime peut en revanche s'appliquer aux mouvements de terrain dus à des carrières ou à quelques autres cavités d'origine anthropique. Il ne s'est jamais appliqué aux incendies de forêt, et l'on peut s'interroger sur les raisons autres que d'opportunité qui maintiennent cette exclusion[183].

### 4. L'indemnisation des dommages dus aux activités minières

La loi du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages confie au fonds de garantie des assurances obligatoires la mission d'indemniser les propriétaires victimes de dommages immobiliers d'origine minière (présente ou passée) sur les immeubles occupés à titre d'habitation principale et survenus à compter du 1er septembre 1998. Il s'agit d'un préfinancement : le fonds indemnise les victimes et se substitue à elles pour obtenir réparation auprès de l'exploitant, ou éventuellement de l'État. La réparation du fonds de garantie des assurances obligatoires est intégrale, à concurrence d'un plafond de 300 000 euros. La réparation intégrale doit permettre au propriétaire de l'immeuble sinistré de recouvrer dans les meilleurs délais la propriété d'un immeuble de consistance et de confort équivalents.

(181) Voir Gollier (1997 et 2005).

(182) Les dégâts occasionnés par une rupture de barrage sont couverts par les contrats d'assurance ordinaires.

(183) Les incendies de forêt donnent lieu à des plans de prévention des risques exactement comme les autres risques couverts par le régime. L'origine anthropique de la plupart des incendies fonde sans doute l'exclusion, mais il est aussi vrai que le feu est un « agent naturel » dont l'« intensité anormale » est facile à constater, ce qui autoriserait à les inclure. De plus, ils satisfont la condition d'être localisés. On trouvera des données sur l'assurance des forêts chez Brunette et *al*. (2009).

## 5. Assurance des risques naturels en France métropolitaine et en outre-mer pour les bâtiments et mobiliers (distinction entre dommages assurables et non assurables)

| | Garanties contractuelles (souvent rattachées aux contrats multirisques habitation et entreprise) | Régime d'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles (garantie obligatoire rattachée aux contrats multirisques habitation et entreprises) |
|---|---|---|
| Dommages assurables | | |
| • grêle | Garantie tempête, grêle et neige | Non |
| • neige | Garantie tempête, grêle et neige | Non |
| • poids de la neige sur les toitures | Garantie tempête, grêle et neige | Non |
| • gel | Garantie tempête, grêle et neige | Non |
| • foudre | Assurance incendie ou assurance dégâts électriques | Non |
| • feux de forêt | Assurance incendie pour les constructions. Pas de mécanisme d'assurance spécifique pour la forêt(*) | Non |
| • tempêtes (incluant les tornades) | | |
| – France métropolitaine | Garantie tempête, grêle et neige | Non. Seuls les effets du vent qui prennent la forme de phénomènes considérés comme non assurables (inondations par exemple) peuvent être indemnisés au titre des catastrophes naturelles en métropole |
| – outre-mer | Garantie spécifique volontaire de la part de l'assuré, alors annexée aux contrats classiques d'assurance (dommages aux biens et pertes financières induites) | Non. Même remarque |

| | | |
|---|---|---|
| Dommages pouvant être assurables ou non assurables | | |
| • peu ou pas localisés | | |
| – événements cycloniques (outre-mer) | Assurables en deçà d'un certain seuil (force du vent > 145 km/h en moyenne sur 10 minutes ou 215 km/h en rafales). Couverture obligatoire par les contrats d'assurance incendie ou de perte d'exploitation après incendie | Oui au-delà du seuil. |
| – infiltration d'eau sous les éléments des toitures par l'effet du vent sans dommage aux toitures | Garantie dégâts des eaux | Oui |
| • localisés | | |
| – mouvements de terrain dont retraits et gonflements des argiles et cavités souterraines | Offre limitée mais, pour les constructions de moins de 10 ans, assurance dommage ouvrage et responsabilité civile décennale | Oui. Mais les dommages résultant de l'exploitation passée ou en cours d'une mine sont exclus de l'application du régime |
| – inondations | Offre limitée | Oui |
| – avalanches | Offre inexistante | Oui |
| – volcanisme | Offre inexistante | Oui |
| – séisme | Offre inexistante | Oui |

*Lecture* : Le régime s'applique en France métropolitaine et aux départements d'outre-mer, à Wallis et Futuna et à Saint-Pierre-et-Miquelon.

*Note* : (*) La garantie tempête est, depuis 1990, une extension obligatoire à toute garantie incendie, sauf pour les sylviculteurs. Elle couvre à un tarif libre le même champ que la garantie incendie et tous les dégâts causés par les effets du vent.

*Source* : Auteurs.

### 6. Sinistres catastrophes naturelles sur la période 1995-2005 : répartition entre les aléas

| | Inondations | Retraits et gonflements des argiles | Séismes | Autres | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| Nombre de sinistres | 501 000 | 231 000 | 34 000 | 11 000 | 778 000 |
| Coût (en millions d'euros 2006) | 4 683 | 3 533 | 132 | 164 | 8 512 |

*Lecture* : Le coût additionne les indemnisations payées par l'assureur, et les franchises payées par les assurés, au titre de la garantie des catastrophes naturelles. Les sinistres de retraits et gonflements des argiles sont calculés sur la seule période 1995-2003.

*Source* : Grislain-Letrémy et Peinturier (2010a).

### 3.3.3. L'extension effective du régime

Les contrats multirisques habitation (MRH) et multitrisques entreprise (MRE) étant largement souscrits en France métropolitaine, la quasi-totalité des ménages et entreprises y bénéficient du régime. Dans les départements d'outre-mer, en revanche, seulement la moitié des ménages assuraient leur habitation en 2006, alors même qu'ils étaient bien davantage exposés que les ménages métropolitains. Une étude statistique détaillée propose une explication troublante à ce comportement d'apparence risquée(184). Le coût élevé de l'assurance, qui est à la hauteur des dangers sur ces territoires, peut naturellement dissuader les ménages ultramarins, mais deux autres raisons semblent prédominer. D'une part, ils ne cherchent ou ne trouvent de toute manière pas à s'assurer si leurs habitations violent les normes de construction ou ignorent les permis de construire, ce qui arrive fréquemment, et d'autre part, il apparaît qu'ils tablent sur des secours le moment venu, quelle que soit leur situation, licite ou illicite, d'assuré ou non. Comme l'expérience le leur a montré, ils peuvent compter sur la bienveillance de l'État, des collectivités territoriales, des organisations non gouvernementales, des proches. Suivant l'étude en question, cet « aléa de charité » serait un facteur non négligeable de la sous-assurance.

### 3.3.4. La tarification, les franchises et l'incitation à la prévention

L'État encadre la tarification de la garantie catastrophes naturelles doublement : il impose des surprimes *à taux fixe* sur une assiette de primes antérieures *qu'il définit par ailleurs*. Comme l'assiette en question ne varie pas, ou varie peu, avec le risque encouru, les surprimes sont en fait déconnectées de celui-ci, et le système est redistributif en faveur des zones exposées et aux dépens des autres. La législation de 1982, confirmée par la suite, visait précisément cet effet. Mais il doit alors affronter l'objection que la tarification prive l'assurance d'un de ses rôles traditionnels, qui est d'inciter à la prévention par une modulation convenable des primes(185).

La surprime actuelle s'établit à un niveau faible, compte tenu de taux fixes modérés ainsi que de la restriction d'assiette (les garanties sont toutes relatives aux biens et la responsabilité civile n'entre pas en ligne de compte). Sur la période 1995-2005, les particuliers ont acquitté 17 euros (principalement au travers des MRH) et les entreprises 138 euros (principalement au travers des MRE)(186). Ces montants suggèrent par eux-mêmes que la surprime n'a rien à voir avec la valeur actuarielle du risque. La déconnexion est très forte outre-mer, où tout concourt à l'accentuer – l'importance du risque objectif lié aux aléas naturels, aussi bien que la modestie des montants assurés par les contrats de base.

(184) Voir Grislain-Letrémy (2012).

(185) Grislain-Letrémy et Peinturier (2010b) estiment les subventions croisées au sein du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles en France métropolitaine entre 1995 et 2006.

(186) Données de Grislain-Letrémy et Peinturier (2010a) et, pour l'outre-mer, de Calvet et Grislain-Letrémy (2011).

Certes, l'encadrement tarifaire ne va pas jusqu'à empêcher les assureurs de fixer librement les primes unitaires de leurs contrats de base, et s'ils souhaitaient les augmenter, l'écart s'atténuerait. Mais la pratique montre qu'ils se servent peu de cette variable d'ajustement[187]. Les MRH et MRE sont pour eux des produits d'appel et ils s'affrontent vivement sur ce marché, ce qui tend à stabiliser les primes vers le bas. Par ailleurs, la forme donnée au contrat de réassurance transforme le total de primes encaissées au titre des catastrophes naturelles en une franchise supportée par l'assureur, la Caisse centrale de réassurance (CCR) n'intervenant qu'au-delà (voir encadré 5). Ainsi, malgré les apparences, l'augmentation des primes peut présenter un désavantage pour la compagnie d'assurance. Enfin, la tendance à l'augmentation peut se renforcer d'une considération juridique de fongibilité. Les assureurs doivent séparer dans leurs comptes pendant dix ans les réserves qu'ils constituent au titre des catastrophes naturelles, et jusqu'à présent, ils ont jugé ces réserves d'un niveau satisfaisant. Il est probable que si elles pouvaient être aussitôt fusionnées avec l'ensemble de leurs réserves, ils verraient un avantage plus net à les augmenter.

### 5. Contrat de réassurance proposé par la Caisse centrale de réassurance

Le contrat de réassurance proposé par la Caisse centrale de réassurance (CCR) s'applique à l'ensemble des garanties catastrophes naturelles offertes par l'assureur et il se compose de deux éléments indissociables. Le premier est un contrat en quote-part, par lequel l'assureur cède à la CCR 50 % des pertes qu'il subit et 50 % des primes qu'il collecte au titre des catastrophes naturelles. Le second est un contrat en limitation de perte (ou en excédent de perte, ou en *stop-loss*), et il s'applique aux pertes non couvertes par le contrat précédent. La CCR supportera ces pertes sans limite au-delà d'une franchise conventionnellement déterminée avec l'assureur. Cette franchise dépend des possibilités financières de la CCR, mais elle est généralement fixée un peu au-delà de 200 % des primes que l'assureur conserve (sa rétention). Quand ce taux est exactement atteint, sa perte finale ne peut donc excéder un montant égal à la rétention.

Le contrat de réassurance de la CCR est très abordable pour l'assureur. En 2006, le montant versé par les assureurs à la Caisse correspondait à 51,5 % des primes collectées (670 millions sur 1,3 milliard d'euros), c'est-à-dire 50 % (prix du contrat en quote-part) et 1,5 % (prix du contrat en limitation de perte).

(187) Ce diagnostic s'est précisé grâce aux auditions.

Ainsi, ni dans le principe général, ni dans la réalité des montants versés, le mode de tarification prévu par le régime n'est de nature à encourager les populations exposées à prévenir les dommages. Mais il existe d'autres moyens que le législateur a instaurés, notamment après que le défaut du système est devenu patent. En premier lieu, à titre d'exception quand il s'agit de catastrophe naturelle, il permet que les assureurs *dérogent à leur obligation normale d'assurance*. Ils peuvent en effet la refuser si le propriétaire n'a pas mis en œuvre la prévention requise(188). Cependant, cette disposition bien orientée semble n'avoir pas eu d'effet pratique. Il existe une autorité administrative indépendante pour trancher les différends nés des refus d'assurance par les compagnies, le Bureau central de tarification, qui se compose paritairement de représentants des assureurs et des assurés. Une section de cet organisme traite des litiges concernant l'indemnisation des catastrophes naturelles. Or de 1982 à 1996, elle n'a pas eu à connaître d'un seul litige fondé sur l'application de cette clause, alors qu'il s'est présenté quelques autres cas de résiliation des contrats de base(189). D'autres indices confirment que les professionnels ne sont généralement pas disposés à faire jouer le refus d'assurance en faveur de la prévention.

Toujours à la recherche d'un effet incitatif convenable, le législateur a prévu depuis l'année 2000 un mécanisme tout différent, qui porte sur *les franchises en cas de sinistre*(190). Une commune qui n'est toujours pas dotée d'un plan de prévention des risques naturels prévisibles et qui voit se reproduire les arrêtés de catastrophes naturelles verra la franchise applicable aux indemnisations des habitants croître en même temps que le nombre des arrêtés. Plus précisément, si la franchise reste à sa valeur réglementaire aux deux premiers arrêtés, elle double au troisième, triple au quatrième, quadruple aux suivants. Les arrêtés se comptent sur une période mobile de cinq ans. Le tableau 7 détaille le mécanisme tout en donnant les valeurs de franchise actuellement applicables. On remarquera qu'elles différencient fortement la sécheresse géothermique (ou retraits et gonflements des argiles) des autres risques naturels, et qu'elles demeurent faibles pour ces autres risques. Aucune des franchises légales n'est rachetable auprès de l'assureur.

Le mécanisme de sanction est moins strict qu'il ne semble parce qu'il suffit que le plan de prévention des risques (PPR) soit *prescrit* (c'est-à-dire officiellement engagé) par le préfet pour que la commune y échappe. Une fois cette précaution prise, elle ne bascule dans la modulation de franchise prévue que si le plan n'est toujours pas *approuvé* (c'est-à-dire rendu défi-

(188) Code des assurances L-125-6. L'exception s'applique si le bien est sur le territoire d'un plan de prévention des risques naturels approuvé et si le propriétaire n'a pas réalisé les prescriptions du plan qui s'appliquaient à ce bien. Par ailleurs, le préfet ou le président de la CCR peuvent aussi saisir le Bureau central de tarification du cas d'un assuré qui n'aurait pas fait sa part des mesures préventives (cette disposition semble n'avoir jamais servi).

(189) Ces informations viennent de Sanseverino-Godfrin (1996).

(190) Arrêtés du 05/09/2000 portant modification du Code des assurances.

### 7. Régime d'assurance des catastrophes naturelles : augmentation et modulation de franchises

<table>
<tr><th></th><th>Franchise pour dommages liés à un risque autre que retraits et gonflements de argiles</th><th>Franchise concernant les retraits et gonflements des argiles</th><th>Modulation de la franchise d'après le nombre d'arrêtés de catastrophe naturelle (commune non dotée d'un PPR)</th></tr>
<tr><td>Contrat dommage<br>• habitation</td><td>380 euros (au lieu de 230 euros avant 2000, soit 65 % de plus)</td><td>1 520 euros (au lieu de 230 euros avant 2000, soit 561 % de plus)</td><td rowspan="3">1 à 2 arrêtés : pas d'augmentation<br>3 arrêtés : x 2<br>4 arrêtés : x 3<br>5 et plus : x 4<br><br>Sont comptés les arrêtés datant des cinq dernières années et concernant ce même risque (aucune modulation auparavant)</td></tr>
<tr><td>• usage professionnel</td><td>10 % du montant des dommages matériels avec un minimum de 1 140 euros (au lieu de 670 euros avant 2000, soit 70 % de plus)</td><td>3 050 euros (au lieu de 670 euros avant 2000, soit 355 % de plus)</td></tr>
<tr><td>Contrat perte d'exploitation<br>• recettes liées à l'exploitation</td><td colspan="2">Franchise équivalente à 3 jours ouvrés avec un minimum de 1 140 euros (au lieu de 670 euros avant 2000, soit 70 % de plus)</td></tr>
</table>

*Source* : Art. annexes I et II à l'art. A 125 du Code des assurances.

nitif) par le préfet au bout de quatre ans[191]. En soi, le délai ne paraît pas outrancier, car, d'après l'administration, il faut en moyenne trois ans pour élaborer un PPR inondation[192] et on peut supposer qu'un PPR mouvement de terrain ne demande pas moins. Il reste qu'une commune qui a su obtenir du préfet une simple mesure de prescription gagne à bon compte l'ajournement des sanctions[193]. En bref, *les pouvoirs publics n'ont toujours pas trouvé les moyens de combiner l'intention resdistributive du régime avec des mécanismes incitatifs à la prévention qui soient réellement contraignants*. Nous compléterons ce diagnostic à la section 4.

### *3.3.5. La Caisse centrale de réassurance et la garantie de l'État*

En sus des obligations légales qu'elle impose, la puissance publique intervient dans le régime en liaison avec son bras armé, la CCR. Celle-ci traite avec les assureurs comme les autres entreprises de réassurance et d'ailleurs en concurrence avec elles. Le contrat qu'elle propose combine les deux modèles coutumiers de la quote-part, qui consiste à partager les primes et les risques avec l'assureur, et de la limitation de perte, qui transfère le risque moyennant une prime à définir, comme s'il s'agissait d'une assurance ordinaire (encadré 4). La CCR se distingue au sein des réassureurs par la garantie que l'État lui accorde, ce qui lui donne un avantage tarifaire auprès de ses clients. Elle ne nous a pas indiqué comment ses calculs de primes intégraient la garantie, mais on sait, car c'est là une information publique, dans quelles circonstances celle-ci a joué ou paru devoir jouer[194].

La CCR fit jouer la garantie de l'État en septembre 2000 pour un montant de 263 millions d'euros. Cet appel faisait suite aux graves inondations de l'année 1999 (dans le sud de la France notamment) et aux retraits et gonflements des argiles qui avaient touché jusqu'à 70 départements à partir de 1995. En 2003, le retour de la sécheresse endommagea de nombreux bâtiments, et d'après la CCR, si toutes les demandes d'indemnisation avaient été acceptées, le risque financier global aurait atteint 3,5 milliards d'euros, dont la Caisse aurait dû supporter de 60 à 70 %. Elle aurait dû en appeler à l'État pour une partie de la somme, soit peut-être de 500 millions à 1 milliard d'euros[195]. En dehors de ces deux épisodes, la CCR s'est suffi à elle-même. On constate en particulier que, depuis 2003, elle a maintenu stables

(191) Cinq ans d'après l'arrêté initial, puis quatre ans d'après celui du 4 août 2003.

(192) Circulaire du 21/01/2004 relative à la maîtrise de l'urbanisme et adaptation des constructions en zone inondable.

(193) Les prescriptions de PPR se sont multipliées peu après la réforme de 2000. Celle de 2004, qui a réduit le délai de tolérance à quatre ans, procède en partie de cette constatation. Les auditions ont révélé que les sanctions pouvaient être tournées autrement : certains assureurs mutualistes annuleraient les augmentations de franchise de leurs adhérents par des transferts compensateurs. Voir aussi le bilan d'Ehrard-Cassegrain et *al*. (2006.)

(194) Voir particulièrement le rapport de Frécon et Keller (2009).

(195) Estimation de Dumas et *al*. (2005).

et la part des catastrophes naturelles dans son chiffre d'affaires, et la part des cotisations que les assureurs lui cèdent. Ainsi, le régime a fait la preuve qu'il dépendait pour son fonctionnement normal de la garantie elle-même, et non pas de sa mise en œuvre effective, ce qui parle certainement en sa faveur[196].

### *3.3.6. Le cas particulier des retraits et gonflements des argiles*

On sait que l'aléa de retraits et gonflements des argiles affecte inégalement les bâtiments selon la qualité de la construction (section 2). C'est pourquoi le régime des catastrophes naturelles fait intervenir la *responsabilité civile du constructeur*, qui s'applique pendant dix années en cas de malfaçons. La loi encourage sa mise en œuvre par différents moyens, par exemple en permettant au maître d'ouvrage de se retourner facilement contre le constructeur, et en lui rendant obligatoire de souscrire une assurance dommage ouvrage pour toute construction neuve qu'il entreprend[197]. L'assurance en question vise à lui procurer une réparation immédiate des désordres survenus dans le bâtiment au cours de la période décennale, la compagnie étant subrogée dans ses droits. Le propriétaire bénéficie de cette facilité en obtenant du maître d'ouvrage un dédommagement plus rapide.

Le système apparaît cependant mal fonctionner en pratique. Préoccupés des frais administratifs, les assureurs ne font jouer la garantie décennale qu'à partir d'un montant relativement élevé de dommages. En outre et surtout, l'assurance dommage ouvrage rencontre peu de succès, la demande étant faible malgré l'obligation légale de souscription et l'offre l'étant alors pour cette raison même. Si la demande fait défaut, c'est que la prime est élevée – entre 2 et 5 % du coût de la construction – et qu'elle doit être versée en une seule fois, ce qui la rend difficilement supportable. Un facteur aggravant du côté de l'offre est que la loi interdit de plafonner les indemnités.

Les limites de ce dispositif assurantiel ont incité l'État à *faire jouer l'indemnisation des catastrophes naturelles en matière de sécheresse*, alors que sur le plan des principes, l'entrée de ce risque dans le régime n'allait aucunement de soi. Il n'est pas facile de remonter des dommages constatés vers un agent naturel responsable, car les chaînons causaux sont multiples : des dommages aux transformations du sol, de celles-ci à la présence d'une argile qui ait subi des variations d'humidité, de celle-ci enfin à une succession particulière de températures et de précipitations où l'on puisse reconnaître l'agent naturel responsable. Même lorsque l'expertise confirme la causalité, il resterait à vérifier que l'agent présentait une « intensité anormale » et à passer outre à la restriction voulant que les effets soient « non assurables », alors que, précisément, ils le sont, même si c'est imparfaitement. Le coût moyen des indemnisations versées par le régime aux titres des retraits et

(196) Voir cependant les réserves exprimées dans le rapport de Bentoglio et Betbèze (2005).

(197) Loi n° 78-12 du 04/01/1978 relative à la responsabilité et à l'assurance dans le domaine de la construction. La souscription doit se faire avant le début des travaux et la non-souscription est passible de sanctions pénales. Les personnes physiques construisant un logement pour elles-mêmes ou pour leurs proches ne sont soumises à l'obligation que sous certaines conditions.

gonflements des argiles est de 15 000 euros[198], ce qui reflète une cote mal taillée. En effet, si le phénomène naturel justifiait le recours au régime, il devrait conduire à des désordres au coût bien plus élevé. Il en est venu à indemniser des dégâts secondaires ou de nature esthétique, ce qui en détourne l'intention.

### *3.3.7. Les aides distribuées après coup*

Certains biens ne sont pas assurés, mais les dommages qu'ils subissent peuvent être indemnisés par des aides spécialement conçues pour tourner cet inconvénient. Le fonds de secours pour l'outre-mer concentre la plupart des interventions relatives aux biens privés non assurés. Il intervient non seulement auprès des particuliers, mais des exploitants agricoles, des pêcheurs, des artisans[199].

Les biens publics non assurés posent un problème particulier. Par une tradition jurisprudentielle ancienne, l'État pris dans un sens large est son propre assureur[200], et cette règle s'applique aujourd'hui aux collectivités territoriales comme à l'État central. Parmi les biens des collectivités, de nombreux bâtiments – comme les écoles, les lycées ou les mairies – sont en fait assurés, ce qui veut dire que le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles s'applique à ces biens. La précision est importante parce qu'elle signifie que les communes, responsables des plans d'urbanisation, se voient indirectement confrontées par le régime à l'effet de leurs propres décisions. Les dispositifs de franchise que nous avons examinés ont donc prise sur elles, et c'est aussi par ce biais qu'ils peuvent être efficaces.

Les biens pour lesquels les collectivités territoriales s'assurent elles-mêmes sont en général des éléments de patrimoine (ouvrages d'art, voirie, réseaux d'assainissement ou d'eau potable, parcs et jardins)[201]. Plusieurs dispositifs d'indemnisation s'appliquent sinon , au niveau national et même européen. Le fonds de secours pour l'outre-mer intervient en faveur des collectivités de ces départements jusqu'à un certain plafond, au-delà duquel elles peuvent bénéficier d'une ligne budgétaire distincte[202]. En métropole s'applique le fonds de solidarité en faveur des collectivités territoriales et de leurs regroupements touchés par des catastrophes naturelles[203]. Ce dispositif s'active quand des événements climatiques ou géologiques causent des dégâts d'un montant compris entre 150 000 euros hors taxe et

(198) Estimation de Grislain-Letrémy et Peinturier (2010a).

(199) La ligne budgétaire correspondante est le programme 123 (« conditions de vie outre-mer »).

(200) Le principe célèbre selon lequel l'« État est son propre assureur » date de 1889. Pour Valluet (1978), il relève de l'opportunité et l'État peut y déroger lorsqu'il l'estime nécessaire. La jurisprudence l'a confirmé sans le systématiser.

(201) D'après Rambaud (2009), une offre d'assurance commencerait à se développer pour les ponts, tunnels, routes et voies ferrées.

(202) Le programme 122, auquel les collectivités métropolitaines ont aussi accès.

(203) Article L. 1613-6 du Code général des collectivités territoriales.

4 millions d'euros hors taxe. Au-delà du plafond, la ligne budgétaire précédente peut être mobilisée. Au niveau européen, depuis sa création en 2002, le Fonds de solidarité de l'Union européenne soutient financièrement l'État membre affecté par un désastre majeur, en l'occurrence pour remettre en état des biens non assurables vitaux liés aux transports, à l'eau, à l'énergie, etc.

À ces dispositifs qui ne portent que sur les biens non assurés et qui sont permanents, il s'ajoute des mesures prises au cas par cas en faveur des victimes de catastrophes naturelles. L'État met en place des fonds d'intervention *ad hoc*, applique des remises fiscales, transfère des subsides venant de dispositifs qui n'étaient pas conçus pour cela (comme le programme national de rénovation urbaine et les programmes de rénovation de l'habitat). Les collectivités locales ne se font pas faute d'offrir à leurs administrés des secours qui ne sont pas tous nécessités par l'urgence. Le rapport de la Cour des comptes sur la tempête Xynthia fait une longue énumération de ces pratiques désordonnées et dispendieuses. Leur existence ne se justifie que si le régime des catastrophes naturelles échoue dans ses ambitions et elles contribuent précisément à l'affaiblir par la désincitation à l'assurance qu'elles créent.

### *3.3.8. Indemnisation des risques agricoles*

Ces risques donnent lieu à une division coutumière. Les bâtiments à usage d'habitation ou professionnel des agriculteurs, leur mobilier, le matériel, y compris le bétail en étable et les récoltes engrangées, enfin les véhicules terrestres à moteur, entrent dans les garanties contractuelles classiques (MRH, MRE, assurance automobile) et, par là, dans le régime d'assurance des catastrophes naturelles. En revanche, les dommages au bétail hors étable et aux récoltes non engrangées sont extérieurs au régime. Au départ, l'assurance privée garantissait les récoltes non engrangées contre certains risques seulement (ceux de grêle et tempête sur récoltes), mais depuis 2006, elle propose des multirisques climatiques plus larges. L'État subventionne les primes à hauteur de 35 %. D'autres risques, jugés non assurables, pèsent sur le bétail hors étable et les récoltes non engrangées, et c'est l'État qui se porte alors garant par le fonds national de gestion des risques en agriculture[(204)]. Celui-ci indemnise les exploitants sinistrés après reconnaissance de l'état de calamité agricole par le ministère de l'Agriculture. Il est alimenté par une cotisation obligatoire sur l'assurance dommages agricoles, ainsi que par une dotation budgétaire, et il constitue donc une autre construction d'économie mixte dans le domaine des risques naturels.

À nouveau, les pouvoirs publics s'autorisent à distribuer aux exploitants victimes soit de calamités agricoles, soit de catastrophes naturelles, des aides qui n'ont pas de finalité précise et dont ils n'assument pas le conflit avec les systèmes assurantiels très développés qu'ils mettent eux-mêmes en place. Le rapport de la Cour des comptes sur la tempête Xynthia égrène les exemples de ces transferts discutables.

(204) Le fonds national de gestion des risques en agriculture, créé par la loi n° 2010-874 du 27 juillet 2010, remplace le fonds national de garantie des calamités agricoles. On remarquera que le clivage des risques assurables et non assurables intervient aussi en matière agricole.

## 3.4. L'indemnisation des dommages et l'assurance en matière de risques technologiques

### *3.4.1. Responsabilité de l'exploitant*

L'indemnisation des risques technologiques relève de la responsabilité privée de l'exploitant, qui ne joue pas de rôle dans celle des risques naturels. Suivant une orientation constante de la loi depuis les grands textes de 1810 et 1917, la présence d'un établissement dangereux ou nuisible n'est pas une raison suffisante pour que les populations en désertent le voisinage, et c'est à l'exploitant d'assumer toutes les conséquences de son activité, voire, dans certains cas extrêmes, de quitter les lieux. Les populations peuvent avoir été présentes dès le début ou au contraire s'être installées après l'exploitant, cela ne fait pas de différence. Ainsi, la responsabilité de l'exploitant est intégrale en cas d'accident(205). Par une rare exception, le législateur traite autrement les pollutions chroniques qui induiraient des nuisances mais sans dommage corporel ni matériel(206).

Suivant la conception classique, dite *subjective*, de la responsabilité, celle-ci a pour condition nécessaire l'existence d'une faute. Cependant, de nombreuses décisions de justice ont préparé le terrain à la conception opposée, dite *objective*, qui admet la responsabilité sans faute. Les juges ont voulu ainsi faciliter l'indemnisation des victimes en leur évitant des procédures complexes. De plus, ils ont été attentifs à la dissymétrie des moyens qui caractérise souvent le responsable d'un accident par rapport à ses victimes ; une telle considération pèse lourd dans le cas du risque technologique. Lorsque la responsabilité sans faute entre aujourd'hui dans la loi, elle s'y accompagne généralement d'une limitation en montant ou dans le temps : la responsabilité est objective et limitée en montant pour ce qui concerne la pollution par des hydrocarbures, objective et limitée dans le temps pour ce qui est des produits défectueux, objective et limitée en montant et dans le temps pour ce qui regarde l'industrie nucléaire (section 3.3). Mais lorsque la responsabilité objective n'est qu'une construction jurisprudentielle, le droit commun s'applique et la responsabilité se trouve illimitée en montant ; seule la prescription trentenaire la limite dans le temps. Le cas des activités minières est particulier, car, pour des raisons historiques, l'État en assume la responsabilité (section 1, encadré 3).

(205) Les risques industriels en France sont régis par le Code de l'environnement (article L. 514-19), par les règles de responsabilité civile du Code civil (article 1382 et suivants), ainsi que par une jurisprudence abondante (celle-ci revêt une importance particulière chaque fois qu'il s'agit de responsabilité).

(206) Code de la construction et de l'habitation, article L. 112-16.

### *3.4.2. L'intervention de l'État sur l'indemnisation des victimes*

L'État dispose de trois modes d'action principaux. Il peut soit participer directement à l'indemnisation des victimes, soit contraindre ou inciter les exploitants à rester solvables afin qu'ils assument toutes leurs responsabilités en cette matière, soit organiser, en faveur des victimes, une couverture d'assurance contre l'insolvabilité ou toute autre défaillance de la part des exploitants.

Comme les risques technologiques impliquent la responsabilité d'un tiers, il serait abusif de faire payer l'ensemble des contribuables en cas d'accident et l'État procède rarement à des indemnisations directes. Le droit peut même le lui interdire : ainsi, le principe pollueur-payeur, maintenant de niveau constitutionnel, a pour effet de l'exclure de l'assurance pollution. Le risque minier fait exception pour la raison qui vient d'être dite, ainsi que le risque nucléaire en vertu de son caractère majeur.

Malgré l'absence d'obstacles de fond, les actions visant à maintenir la solvabilité de l'exploitant ne se sont guère développées, du moins pour ce dont il s'agit ici, c'est-à-dire l'indemnisation des dommages faits aux victimes. L'assurance responsabilité civile n'étant obligatoire ni pour les professionnels, ni pour les particuliers, les pouvoirs publics pourraient l'imposer dans certains cas exceptionnels et sinon choisir d'autres modes de garantie[207]. Or s'il est vrai qu'ils conditionnent parfois l'autorisation à exploiter par des garanties (pour les plus dangereuses des installations classées et certains sites de stockage), *ces garanties ne couvrent pas les indemnisations dues aux tiers* qui subiraient un préjudice en cas de pollution ou d'accident. Leur but est de garantir que l'exploitation fonctionne dans des conditions de sûreté acceptables, et qu'une fois qu'elle aura cessé de fonctionner, le site utilisé retourne à un état normal. L'article L. 516-1 du Code de l'environnement est formel à cet égard : « Ces garanties sont destinées à assurer, suivant la nature des dangers ou inconvénients de chaque catégorie d'installations, la surveillance du site et le maintien en sécurité de l'installation, les interventions éventuelles en cas d'accident avant ou après la fermeture, et la remise en état après fermeture. Elles ne couvrent pas les indemnisations dues par l'exploitant aux tiers qui pourraient subir un préjudice par fait de pollution ou d'accident causé par l'installation »[208].

(207) Les autres modes de garantie comportent les cautions bancaires ou délivrées par une compagnie d'assurance, le recours à un fonds sectoriel (fonds de garantie interprofessionnel), les hypothèques et sûretés réelles de premier rang, les comptes bloqués, les cautions apportées par une société mère ou parente, les captives, les actifs dédiés ou encore les fiducies. Voir Sanseverino-Godfrin (2010).

(208) Selon nos interlocuteurs, les garanties financières aujourd'hui demandées conviendraient aux buts spécifiquement recherchés par la loi, en particulier, à la dépollution du site après usage et à sa mise en sécurité en cas de défaillance de l'entreprise, deux aspects essentiels de sa préservation. Cependant, Billet (1999) porte un diagnostic beaucoup plus mitigé.

L'action publique s'est davantage attachée à *développer la couverture des victimes par des régimes d'assurance*. Ainsi, les dommages corporels en cas d'accident sont partiellement indemnisés par la sécurité sociale et les mutuelles ou par des contrats spéciaux, tels que le contrat garantie des accidents de la vie, évoqué plus haut. Encore une fois mieux garantis, les dommages aux biens donnent lieu au *régime d'indemnisation des catastrophes technologiques* créé par la loi Bachelot en 2003. Ce système s'inspire du fonctionnement du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles mais en diffère par la présence d'un tiers responsable. Il a pour seul but d'éviter de longues procédures aux victimes et de les protéger contre la non-identification ou l'insolvabilité du responsable. Ainsi, en cas de catastrophe technologique, l'assureur indemnise les victimes et cherche à identifier le responsable contre lequel il se retournera. Le dispositif vise à parer à l'urgence et non pas à procurer d'emblée toute l'indemnisation concevable ; c'est ainsi qu'il ne couvre que les dommages à la résidence principale des particuliers.

Un contrat d'assurance de dommages aux biens pour les particuliers comporte obligatoirement la couverture des catastrophes technologiques s'il s'agit, justement, de leur résidence principale. La prime catastrophes technologiques (dans la pratique, d'un montant égal à quelques euros par an) est incluse dans la prime multirisques habitation, sans que l'État l'encadre, si ce n'est qu'il interdit aux assureurs d'établir une franchise. L'État n'engage pas non plus sa garantie.

La loi définit une *catastrophe technologique* comme un accident (non nucléaire) qui endommage un grand nombre de biens immobiliers (au moins 500 logements rendus inhabitables) et qui survient soit dans une installation classée pour la protection de l'environnement, soit dans un stockage souterrain de produits dangereux, soit à l'occasion d'un transport de matières dangereuses[209]. Un arrêté interministériel constate l'état de catastrophe technologique. Les assurés bénéficient alors de la garantie prévue. Quant aux non-assurés, ils peuvent se tourner vers le fonds de garantie des assurances obligatoires dans la limite de 100 000 euros. Ce plafond traduit la volonté de l'État d'inciter les ménages à s'assurer.

Dans le cas des activités minières, la loi de 2003 permet de même un préfinancement des indemnisations par le fonds de garantie des assurances obligatoires[210]. La différence avec les catastrophes technologiques est que ce régime assure une indemnisation directe et ne relève pas de l'assurance. C'est pourquoi il s'applique à toutes les victimes indistinctement.

(209) Articles L. 128-1 et R. 128 du Code des assurances.

(210) Le financement de cette intervention repose sur un prélèvement sur les contrats d'assurance automobile. Vaulont et Vo Van Qui (2012) recommandent que cette intervention soit financée par l'État sur les crédits « après-mines ».

## 3.5. L'action publique en matière de risques nucléaires

### *3.5.1. Principales étapes institutionnelles*

En France, le cadre légal et institutionnel du risque nucléaire civil s'est mis en place à la fin des années 1960 et au début des années 1970, à une époque où l'expertise, le contrôle et la couverture de ce risque faisaient partie intégrante de l'industrie nucléaire et, finalement, de l'État lui-même, qui l'avait mise en place et qui la dirigeait. L'organisation centralisée du nucléaire civil à cette époque serait inintelligible si l'on oubliait qu'elle trouvait son origine dans l'effort des gouvernements successifs d'après-guerre pour doter la France de l'arme atomique. Il faut aussi revenir à l'objectif ultime qui, pour la Ve République surtout, mais déjà en filigrane aussi pour la IVe, semblait devoir lier les deux organisations : l'indépendance nationale, sous la forme de la suffisance énergétique aussi bien que de la dissuasion nucléaire.

La catastrophe de Tchernobyl en 1986, avec ses retombées radioactives mal évaluées ou dissimulées, jeta le doute sur une organisation privée de transparence, et l'idée se fit jour que la sûreté nucléaire, à l'instar de ce qui se fait dans d'autres industries, gagnerait à une séparation effective des fonctions qui étaient indistinctement assurées par l'État. D'ailleurs, les idées ambiantes s'éloignaient de l'étatisme qui avait dominé la Ve République jusqu'au premier septennat de François Mitterrand, et elles favorisaient dorénavant une représentation directe de la société civile. Avec une visibilité médiatique bien plus grande que celle de Tchernobyl, les grandes affaires de santé publique survenues dans les années 1990 achevèrent de convaincre l'opinion et les politiques que les temps étaient venus, en matière de grands risques, de séparer l'expertise et le contrôle, d'une part, et la gestion courante, de l'autre, chaque fois que l'indépendance des premières était menacée par la seconde.

L'accident de Tchernobyl marque l'entrée en scène du Parlement, que la Ve République, avait jusqu'alors tenu à l'écart des questions nucléaires civiles aussi bien que militaires. Créé en 1983 avec une fonction large, l'Office parlementaire des choix scientifiques et technologiques se manifesta sur la question nucléaire, pour la première fois et d'abord modestement, à propos de Tchernobyl(211). Pendant les législatures 1988-1993 et suivantes, l'organisme s'empara du sujet en s'attachant particulièrement à la sûreté, soit de la gestion des déchets (avec les rapports des députés Christian Bataille et Jean-Yves Le Déaut), soit de celle des installations (avec les rapports successifs du député Claude Birraux). Au total, entre 1987 et 2001, l'Office rendit seize rapports ayant trait au nucléaire, dont dix portaient sur la sûreté(212). Ces travaux préparèrent la constitution d'entités indépendantes de contrôle et d'expertise et tirèrent dans le sens d'un processus de décision moins opaque.

(211) Par une mission sur place dirigée en 1987 par le sénateur Jean-Marie Rausch.

(212) Voir la liste des rapports disponible sur http://www.assemblee-nationale.fr/documents/index-general-oecst.asp

### 3.5.1.1. Séparation des rôles et des responsabilités

Jusqu'en 1991, la définition d'une doctrine de sûreté et la vérification de sa mise en œuvre reposaient sur le Service central de sûreté des installations nucléaires. À cette date, il se transforma en Direction de la sûreté des installations nucléaires, sous une tutelle que le ministère de l'Industrie partagerait désormais avec celui de l'Environnement ; cette dualité favoriserait l'indépendance de l'organisme. Il gagna en autorité en 2002, lorsqu'il prit le rang de Direction générale en élargissant son champ de compétence à la radioprotection. La nouvelle Direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection reçut alors une tutelle supplémentaire, celle du ministère de la Santé.

L'expertise de la sûreté reposait, depuis 1976, sur l'Institut de protection et de sûreté nucléaire, rattaché au Commissariat à l'énergie atomique. L'organisme connut des réformes internes importantes dès 1990, qui en renforcèrent l'autonomie, avant d'être définitivement séparé du Commissariat par une loi de 1998, puis fusionné avec l'Office de protection contre les rayonnements ionisants par un décret de 2002. Issu de cette fusion et doté d'un statut d'établissement public industriel et commercial, l'*Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire* (IRSN) est désormais l'unique organisme public responsable de l'expertise sur les risques nucléaires et radiologiques.

La loi de 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire (dite loi TSN) paracheva les transformations en remplaçant la Direction générale évoquée plus haut par une *Autorité de sûreté nucléaire* (ASN), dotée du statut – informel en droit – d'autorité administrative indépendante[213]. L'ASN est dirigée par un collège de cinq commissaires, nommés pour un mandat non reconductible de six ans et irrévocables, sauf manquement grave. La loi TSN réaffirme l'autorité de l'État dans l'élaboration de la politique de sûreté nucléaire et de radioprotection, mais elle fait de l'ASN le premier dépositaire de cette autorité.

Avec la création de l'ASN et de l'IRSN, qui lui sert d'expert technique officiel, et l'évolution parallèle du statut des entreprises EDF et Areva, les trois composantes historiques de la sûreté nucléaire en France ont finalement gagné leur autonomie, à l'égard de l'administration centrale comme les unes par rapport aux autres.

### 3.5.1.2. La transparence et l'ouverture du processus de décision publique

La loi TSN a instauré un droit à l'information en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection, investi l'ASN d'une mission dans ce domaine et décidé la création d'une instance nouvelle, le *Haut comité pour la trans-*

(213) Loi n° 2006-686 du 13/06/2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire.

*parence et l'information sur la sécurité nucléaire*. L'intitulé traduit la fonction, qui est de veiller à la qualité de l'information, mais la loi TSN semble ouvrir la possibilité que le Haut comité aborde, plus substantiellement, les risques nucléaires eux-mêmes. Il peut être saisi par certaines parties ou se saisir lui-même, et ses avis sont publics. Il peut faire réaliser des expertises, organiser débats et concertations, et obtenir toute information de la part des exploitants, de l'ASN et des services de l'État. Ses membres sont nommés pour une durée de six ans.

Toujours suivant la loi TSN, chaque installation nucléaire de base (voir section 2) devra s'accompagner d'une *commission locale d'information* (CLI), dont elle renforce le rôle et les moyens. Mises en place en 1981 autour des principales installations nucléaires, les CLI réunissent les acteurs locaux (élus locaux, parlementaires, représentants de l'exploitant, d'associations, d'organisations syndicales et professionnelles et d'entreprises, personnalités qualifiées) avec les représentants des administrations centrales impliquées. Elles bénéficient de l'appui institutionnel de l'ASN, qui facilite leur accès à l'information et peut inviter leurs membres à participer aux inspections, sous réserve d'accord de l'exploitant. Elles peuvent faire appel à l'expertise de l'IRSN. Elles sont chapeautées nationalement par l'Association nationale des comités et commissions locales d'information.

Cette association a joué un certain rôle en promouvant la Convention d'Aarhus dans le domaine nucléaire. Signée en 1998 par 56 pays, dont l'ensemble des États membres de l'Union européenne et les États-Unis, la Convention vise à renforcer la participation de la société civile aux processus de décision publique en matière environnementale. Plusieurs directives européennes l'ont reprise et, de là, elle est passée en droit français (voir sous-section 1.1). Cependant, des travaux ont mis en évidence que les dispositions légales n'avaient pas toujours de portée réelle(214). Les représentants de la société civile ne parviennent pas à orienter les décisions stratégiques, dont les échelles temporelles et géographiques dépassent largement leur champ de compétence légale. Par ailleurs, les textes actuels ne garantissent pas qu'une décision publique prise après une phase de concertation tienne compte des résultats obtenus, et ils ne requièrent pas même que la décision soit motivée.

À la suite de l'accident de Fukushima, les évaluations complémentaires de sûreté – qui seront détaillées plus bas – ont donné lieu à une certaine relance de la concertation. Grâce aux institutions qui viennent d'être présentées, des représentants de la société civile auront pu se manifester de manière critique(215). Enfin et surtout, un rapport approfondi de la Cour des comptes en 2012 a montré que les grands choix nucléaires figuraient désor-

(214) Table ronde « Convention d'Aarhus et nucléaire, France ». Voir le rapport de synthèse (ANCCLI, 2012).

(215) Voir, à titre d'exemple, GSIEN (2011).

mais pleinement dans l'espace de discussion public[216]. Pour la première fois en France, un document officiel tente de répertorier et d'évaluer tout ce qui forme le coût de production électronucléaire. Bien que la sûreté ne soit pas la préoccupation centrale du rapport, il attire l'attention sur les coûts élevés que le parc de réacteurs imposera désormais pour justifier d'une sécurité suffisante. Il souligne aussi que l'industrie nucléaire civile bénéficie d'une subvention publique de fait sous le régime de responsabilité civile et d'assurance existant.

### *3.5.2. Évaluation et prévention : la doctrine de sûreté nucléaire française*

Les activités nucléaires en France doivent obéir à cinq principes fondamentaux inscrits dans la loi : le *principe de responsabilité*, qui met à la charge des exploitants les risques liés à leurs activités ; le *principe pollueur-payeur*, qui étend leur responsabilité aux coûts de prévention des atteintes environnementales et de lutte contre la pollution ; le *principe d'optimisation*, disposant que l'exposition des personnes à des rayonnements ionisants doit être aussi faible que raisonnablement possible, étant donné les technologies et les facteurs socio-économiques en jeu ; le *principe de justification*, exigeant qu'une activité nucléaire ne soit entreprise que si les bénéfices qui en sont attendus dépassent ses coûts et les risques qu'elle impose aux personnes ; enfin le *principe de limitation*, selon lequel l'exposition cumulée d'une personne à des rayonnements ionisants ne doit pas dépasser les limites réglementaires. Les deux premiers principes ne concernent pas seulement la responsabilité civile après que les dommages sont survenus, mais encore au stade initial de la prévention. Leur effet pratique est limité par la clause de plafonnement de la Convention de Paris, dont il sera question plus loin, et l'État prend du coup le principal du risque nucléaire à sa charge ; c'est l'effet de subvention implicite que la Cour des comptes a souligné. Les trois derniers principes viennent du champ de la radioprotection et ont été progressivement étendus à celui de la sûreté.

S'il revient donc aux exploitants de veiller à la sûreté de leurs installations, c'est cependant à l'État d'en définir les modalités et d'en contrôler le degré effectif, et il s'appuie dans ce rôle sur une *doctrine de sûreté*. Celle-ci demande de concevoir, d'exploiter, de modifier et d'arrêter une installation nucléaire en maintenant chaque fois des *marges de sûreté*, c'est-à-dire les écarts maximaux aux conditions normales qui évitent la défaillance, et en organisant par ailleurs une *défense en profondeur* qui tienne compte des possibilités d'incidents et d'accidents[217]. De la notion militaire qui inspire la défense en profondeur, la doctrine retient l'idée que les lignes de défense jouent tour à tour, en ne s'activant que si les précédentes sont débordées, mais non pas le sens topographique ordinaire, d'après lequel une ligne

(216) Cour des comptes (2012a).

(217) Pour une analyse plus détaillée, voir Lahidji (2012).

correspond à un tracé sur un plan. Elle consiste ici en un certain dispositif technique et humain, adapté censément à tous les scénarios accidentels qui ont dépassé les moyens des dispositifs précédents. Tant le calcul des marges de sûreté que la définition des lignes successives de la défense en profondeur se passent d'attribution probabiliste aux événements : *la démarche est tout entière déterministe*. En particulier, il n'est pas question de probabiliser le « risque résiduel », c'est-à-dire celui qui est associé au débordement de la dernière ligne de défense. Les notions formelles qui viennent d'être sommairement présentées se retrouvent finalement dans un ensemble d'exigences concrètes fixées pour chaque installation particulière, le *référentiel de sûreté*.

Malgré son orientation déterministe, la doctrine française de sûreté s'est enrichie de quelques outils complémentaires d'évaluation probabiliste, mais ceux-ci comportent des limites de sens et de portée. Publiée par l'ancêtre de l'IRSN en 1990, la première *évaluation probabiliste de la sûreté* (EPS) d'une centrale se concentrait sur les défaillances des systèmes internes, modélisées avec un grand souci de vraisemblance, mais au détriment d'une représentation plus complète du risque effectif – c'est-à-dire intégrant aussi les agressions internes (telles que les incendies) et externes (telles que les aléas naturels)(218). Par la suite, les EPS françaises manifesteront toujours la même limite dans le traitement des probabilités. Selon la dernière version disponible de l'EPS de niveau 1, c'est-à-dire relative à la fusion du cœur de la centrale, la probabilité totale de cet événement, qui se produirait dans un réacteur 900 Mwe et pour une liste d'événements initiateurs considérés, est de $1{,}3.10^{-5}$ par année d'opération. Limité qu'il est aux défaillances des systèmes, ce calcul indique seulement une fraction de la probabilité de l'événement étudié, c'est-à-dire de la fusion du cœur. À titre d'illustration, l'EPS de cinq centrales américaines publiée par la NRC en 1990 incluait, pour deux des centrales, une analyse de certaines agressions externes. Or la contribution de celles-ci au risque total de fusion était, dans les deux cas, supérieure d'un ordre de grandeur à celle des initiateurs internes(219).

De plus, il n'existe pas, à ce jour, d'EPS de niveau 3, c'est-à-dire portant sur les conséquences sanitaires, sociales et économiques d'un accident grave à l'extérieur de la centrale. Récemment, l'IRSN a procédé à une estimation des coûts moyens d'un accident nucléaire sur la base de cas génériques. Longtemps confidentielle, celle-ci commence à être connue par le rapport de la Cour des comptes signalé plus haut(220). Elle reprend la décomposition des enjeux évoquée à la section 2 et elle situe le coût total d'un accident majeur dans une fourchette allant de 600 à 1 000 milliards d'euros.

(218) L'*évaluation probabiliste de la sûreté* (EPS) est une méthode d'identification et de quantification systématique des risques d'accident grave dans une installation industrielle telle qu'une centrale nucléaire. Elle peut avoir pour objet les scénarios de fusion du cœur du réacteur (EPS de niveau 1), de rejet de matières radioactives dans l'environnement dans l'hypothèse d'une fusion (EPS de niveau 2), et d'impacts sanitaires, environnementaux et économiques liés aux rejets (EPS de niveau 3). L'EPS de 1990 était de niveau 1.

(219) Voir IRSN (2012) et NRC (1990).

(220) Les auteurs n'avaient pas pu se la procurer auprès de l'IRSN.

Afin d'alimenter les études de sûreté par le retour d'expérience, un effort important de collecte de données a lieu dans l'ensemble des installations françaises (comme d'ailleurs dans la plupart des réacteurs au monde). Tout événement significatif du point de vue de la sûreté doit être identifié, répertorié et signalé à l'ASN. Celle-ci peut alors mettre en parallèle accidents et dispositions préventives, quitte à reconsidérer les hypothèses qui présidaient à la défense en profondeur et, finalement, à modifier les référentiels de sûreté existants. Les réacteurs ont fait ainsi l'objet de réévaluations de sûreté ; elles ont le plus souvent lieu après les visites décennales obligatoires, qui s'accompagnent de leur arrêt prolongé. En résumé, la doctrine française estime qu'aucun niveau de risque n'est acceptable en soi et que la sûreté nucléaire relève d'un processus d'amélioration continue, et cependant ne cherche pas à probabiliser les risques existant aux différentes étapes de cette amélioration.

### *3.5.3. La sûreté nucléaire à l'épreuve : le Blayais et Fukushima*

L'inondation de la centrale du Blayais en 1999, que nous avons évoquée à la section 2, fournit un exemple remarquable à plusieurs titres pour apprécier la politique française de sûreté nucléaire et le rôle qu'y joue le retour d'expérience. Une fois analysé, l'incident fit voir que la règle fondamentale de sûreté (RFS) I.2.e, qui spécifie la méthode d'évaluation de l'aléa inondation, présentait deux lacunes sérieuses : elle ne tenait pas compte des effets de la houle et se montrait relativement insensible aux valeurs extrêmes de surcote marine. La règle conduisait ainsi à minorer l'incertitude existante dans l'évaluation de l'aléa(221).

Le retour d'expérience conduisit à revoir la prévention des risques d'inondation pour les centrales nucléaires en général. Au Blayais, les nouveaux aménagements consistèrent à rehausser la digue en front de Gironde de 5,20 à 6,20 m et à la compléter d'un mur pare-houle de 8,50 m. On décida aussi de mettre en place de nouveaux systèmes d'alerte et de nouvelles procédures internes pour piloter l'installation en cas de crise, notamment si l'alimentation électrique extérieure venait à faire défaut. La dernière étape du retour d'expérience, sept années après l'accident, aura été la rédaction d'un guide de l'ASN concernant la protection des installations nucléaires de base contre les inondations venues du dehors ; celui-ci devrait se substituer à la RFS I.2.e. Une version préliminaire était soumise à consultation publique en 2010(222).

Bien que très approfondie, la réévaluation de la sûreté n'a pas tenu compte de tous les enseignements possibles. L'inondation avait notamment révélé qu'il était possible de perdre simultanément des sources d'alimentation extérieures (électricité, eau froide) et des systèmes de sécurité intérieurs (surveillance, contrôle), et cela au point que la défense en profondeur

(221) Pour une discussion plus complète, voir IRSN (2007) et Lahidji (2012).

(222) Voir ASN (2010).

serait mise en échec. Dans les conclusions d'une analyse faite peu après l'accident, l'Institut de protection et de sûreté nucléaire mettait en exergue un autre enseignement : il était possible que toutes les tranches soient gravement affectées à la fois par un événement extérieur[223]. Il ne semble pas que le nouveau guide ait pris en charge ces deux scénarios catastrophiques, dont on notera la parenté conceptuelle : *ils reposent une simultanéité d'effets destructeurs provoqués par le choc extérieur*. Des parties de l'installation qui sont conçues pour fonctionner indépendamment, et dont les pannes coïncidentes seraient hautement improbables si elles provenaient de dysfonctionnements internes, peuvent être mises ensemble hors jeu par une cause commune, typiquement la réalisation d'un aléa naturel. Cette observation qu'inspire l'accident du Blayais livre par avance la clef de la catastrophe de Fukushima. Onze ans après l'accident du Blayais, celle-ci a mis en lumière les mêmes risques fondamentaux, cette fois en les réalisant complètement : la défense en profondeur est exposée aux aléas naturels extrêmes et des défaillances peuvent toucher simultanément plusieurs réacteurs d'un même site.

Des années d'observation et d'étude seront sans doute nécessaires pour qu'on appréhende au bon degré technique l'accident qui détruisit la centrale de Fukushima Dai-ichi le 11 mars 2011, ainsi que les jours suivants. Mais la gravité de l'événement a néanmoins conduit les autorités de sûreté, les experts et les exploitants du monde entier à engager un retour d'expérience dès le lendemain de la catastrophe. Moins de deux semaines après, le Conseil européen demandait aux États membres de « vérifier la sûreté de toutes les installations nucléaires de l'Union européenne, sur la base d'une évaluation globale et transparente des risques et de la sûreté »[224]. En s'appuyant sur un effort immédiatement accompli de spécification technique, les régulateurs européens de la sûreté nucléaire purent s'accorder dès le mois de mai sur un *cahier de charges pour les tests de résistance* (les désormais fameux *stress tests*)[225]. Les autorités de sûreté nationales présentèrent leurs résultats devant la Commission européenne à la fin de l'année 2011, et celle-ci en publia finalement la synthèse en 2012[226].

Pour sa part, la France requit des *évaluations complémentaires de sûreté* (ECS) au début mai en imposant un rythme précipité aux trois protagonistes : les exploitants devaient fournir leurs résultats au 15 septembre à l'IRSN, qui devait elle-même rendre compte à l'ASN en temps utile pour

(223) « L'inondation qui s'est produite sur le site du Blayais a mis en évidence un mode de dégradation possible du niveau de sûreté de l'ensemble des tranches d'un même site » (IPSN, 2000). Si toutes les tranches cessent de fonctionner, elles solliciteront puissamment les circuits de refroidissement, qui ne répondront pas au degré convenable s'ils sont endommagés.

(224) Conseil européen des 24-25/03/2011.

(225) L'Association des autorités de sûreté d'Europe de l'Ouest avait posé les spécifications, et le Groupe des régulateurs européens dans le domaine de la sûreté nucléaire composa le cahier de charges.

(226) Communication du 04/10/2012 (CCE, 2012a).

que celle-ci prenne les dispositions nécessaires à la fin de l'année. La méthodologie des ECS est mise au point conjointement par les exploitants et l'IRSN. Elle consiste à compléter l'analyse traditionnelle de la sûreté en identifiant, pour les centrales, un « noyau dur » de structures, systèmes et composants qui suffiraient à en préserver les fonctions de sûreté si un accident grave survenait. La conséquence pratique est alors de renforcer le « noyau dur » de manière qu'il affronte des conditions extrêmes. La palette de situations reflète directement l'événement Fukushima : agressions extérieures dont l'ampleur excède celle des référentiels de sûreté, agressions induites, comme les explosions d'hydrogène qui affectèrent la centrale de Fukushima en 2011, perte de fonctions de refroidissement, perte de longue durée de sources électriques affectant l'ensemble des installations d'un site. Les ECS s'inscrivent dans le même type de démarche que la défense en profondeur et, selon l'idée présente des experts, il convient d'intégrer à celle-ci leurs résultats sur les « noyaux durs ».

L'IRSN a jugé globalement satisfaisants les résultats que les exploitants lui ont communiqués, et les groupes permanents d'experts chargés de conseiller l'ASN ont estimé que les ECS avaient su tenir compte des agressions extérieures sans lacune significative[227]. Les quelques insuffisances identifiées pouvaient faire l'objet d'ajustements grâce aux réexamens décennaux, dont le rôle fondamental se voyait réaffirmé au passage. Le processus d'examen a cependant fait ressortir plusieurs insuffisances des référentiels de sûreté actuels. Ce sont les groupes permanents de conseil qui se sont montrés le plus nets : « les référentiels actuels ne considèrent pas le cumul des situations de perte totale des alimentations électriques ou de sources de refroidissement avec les agressions externes prises en compte dans les référentiels : de ce fait, les équipements nécessaires à la gestion de ces situations ne sont pas tous protégés ou dimensionnés aux niveaux d'aléas du domaine de dimensionnement »[228]. On retrouverait donc à ce stade encore *des scénarios de cumuls de défaillance dus à une cause commune* que nous mettions en valeur à propos du Blayais.

Au vu des ECS réalisées, l'IRSN émet deux autres objections. Premièrement, il se peut que, sous l'effet des modifications successives apportées aux installations, leur comportement face à une agression finisse par diverger de celui qu'imposent les référentiels de sûreté (« écart de conformité »). Deuxièmement, même quand la hausse des exigences est reconnue nécessaire, il faut du temps pour que les référentiels de sûreté l'incorporent. Dans un cas comme dans l'autre, l'ASN ne peut aujourd'hui déceler les faiblesses éventuelles et apporter des correctifs qu'à une fréquence décennale, celle des réexamens de sûreté officiels.

(227) ASN (2011) et Groupes permanents réacteurs et usines (2011).

(228) Groupes permanents réacteurs et usines (2011).

Inspirée par ces analyses, l'ASN a imposé aux exploitants d'engager de nouvelles mesures de sûreté selon un calendrier pluriannuel. Il s'agira notamment de mettre en place le « noyau dur » de chaque installation, qu'on laisse à l'exploitant le soin de définir précisément. La Commission européenne a contesté la marge de manœuvre laissée aux exploitants et, simultanément, poussé *en faveur des évaluations probabilistes*, exprimant là une préférence qui est caractéristique de sa propre doctrine (elle est aussi présente en matière de risque technologique, voir l'analyse des directives à la sous-section 2). Sur un autre plan, il est question de mettre en place une « Force d'action rapide nucléaire » à l'échelle nationale afin de compléter et d'appuyer les moyens de gestion de crise d'un site accidenté[229].

### *3.5.4. Le régime d'assurance du risque nucléaire.*

Parmi les différentes formes d'action publique sur le risque nucléaire, seule l'assurance continue aujourd'hui à relever de dispositions qui datent des premiers temps de l'usage industriel de l'atome, voici un demi-siècle. Le régime spécifique de responsabilité civile sur lequel reposent ces dispositions est aussi resté en vigueur.

La Convention de Paris, signée en 1960 sous les auspices de l'Organisation européenne de coopération économique[230], fait porter sur le seul exploitant de l'installation nucléaire la responsabilité civile des dommages créés par un accident survenu sur cette installation ou en relation avec elle (comme dans les accidents de transport). Elle néglige donc le fait que d'autres parties ou d'autres événements aient pu contribuer à provoquer les dommages. De manière cohérente avec ce choix de « canaliser » la responsabilité, la Convention retient pour celle-ci l'interprétation, dite objective, de la *responsabilité sans faute*. Une disposition aggrave ces conditions sévères : les installations nucléaires endommagées n'entrent pas dans le champ de la responsabilité (on veut éviter que la réparation des dommages se fasse au détriment des tiers). La charge de l'exploitant est en revanche allégée par d'autres dispositions, soit qualitatives, soit quantitatives[231]. Pour ce qui est des dernières, la Convention de Paris soumet la responsabilité à un plafond que l'État signataire a la faculté d'augmenter s'il le désire. De manière cohérente avec le choix fait de la responsabilité objective, la Convention fait *obligation à l'exploitant de s'assurer ou de constituer une garantie financière*. La Convention complémentaire de Bruxelles, qui est venue préciser celle de Paris en 1963, a introduit une échelle à trois niveaux, dont le premier correspond au plafond de responsabilité et d'assurance obli-

(229) IRSN (2011), ASN (2011) et CCE (2012b).

(230) Préfiguration de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), dont le secrétaire général est devenu dépositaire de la Convention.

(231) Voici les principales limitations qualitatives. Les dommages couvrent le décès et les pertes corporelles et matérielles, laissant à l'appréciation des tribunaux la recevabilité de demandes relatives aux autres pertes. La victime ne peut fonder son action que sur la responsabilité statutaire qui découle de la Convention et n'a pas droit à une action en responsabilité quasi délictuelle. Les actions doivent en général être engagées dans les dix années suivant la date de l'accident.

gatoire de l'exploitant. Entre les premier et deuxième niveaux, la réparation incombe à l'État signataire où s'est produit l'accident, et entre le deuxième et le troisième, elle incombe aux États signataires solidairement. Les deux conventions sont entrées en vigueur en France avec l'adoption d'une loi en 1968[232]. Le tableau 8 présente les montants respectifs à ce jour.

La responsabilité objective ne fonctionne de manière satisfaisante qu'avec une organisation elle-même satisfaisante de l'assurance. Celle-ci avait fait ses débuts aux premiers temps de l'industrie nucléaire civile : il s'était alors constitué des *pools d'assurance* (en 1956 aux États-Unis, au Royaume-Uni et en Suède, et en 1957, en France, en Suisse et en Belgique). La collaboration des assureurs sous cette forme paraît inévitable à cause de la taille du risque, et elle a persisté en faisant grandir ses moyens. Aujourd'hui, le Groupement d'intérêt économique *Assuratome* compte 39 membres (sociétés d'assurance et de réassurance) et il couvre les installations nucléaires, le transport de matières radioactives et l'utilisation de radio-isotopes à des fins industrielles ou médicales.

Après les accidents de Three Mile Island et de Tchernobyl, le régime a fait l'objet de critiques en raison de la définition restrictive qu'il donne des dommages nucléaires, de sa portée géographique limitée et, surtout, de la faiblesse de l'enveloppe de compensations qu'il prévoit. Un protocole est venu amender en ce sens les Conventions de Paris et de Bruxelles[233]. Il porte la responsabilité civile minimale de l'exploitant à 700 millions d'euros, tout en reconnaissant pour la première fois que les parties contractantes puissent appliquer une responsabilité illimitée, y compris postérieurement à l'accident[234]. Il réévalue les deuxième et troisième tranches d'indemnisation en portant leurs valeurs à 500 millions et 300 millions d'euros respectivement. Le champ de la responsabilité couvre les dommages subis sur les territoires d'États non contractants, ce qui n'était pas le cas dans les conventions antérieures, et les pertes économiques et les dégradations à l'environnement figurent désormais dans les dommages indemnisables. Le protocole n'est toujours pas appliqué, car il faut pour cela remplir une double condition de ratification, par deux tiers des parties contractantes actuelles et par la totalité des signataires de la convention de Bruxelles membres de l'Union européenne. Or peu d'États l'ont ratifié à ce jour, et certains n'ont pas même pris les dispositions de droit interne qui leur permettrait de le faire[235]. Un tel attentisme fait évidemment redouter que les montants d'indemnisation restent pour longtemps fixés aux valeurs désuètes des conventions anciennes[236].

(232) Loi n° 68-943 du 30/10/1968 relative à la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire.

(233) Protocole du 12/02/2004.

(234) Le principe de la responsabilité illimitée prévalait déjà en Allemagne et en Suisse.

(235) Il s'agit de la Belgique, de l'Italie et du Royaume-Uni. En France, ces dispositions ont été prises par la loi n° 2006-786 du 05/07/2006 autorisant l'approbation d'accords internationaux sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire. La loi TSN prévoit déjà les nouveaux montants, mais en les rendant conditionnels à la ratification.

(236) On trouvera d'autres précisions sur l'assurance nucléaire dans *Risques* (2011, n° 86-2).

### 8. Les niveaux d'indemnisation prévus par les dispositions en vigueur en 2012 et par le protocole de 2004

| | Plafonds prévus par les Conventions de Paris et de Bruxelles | Loi française | Protocole de 2004 |
|---|---|---|---|
| | | (en millions d'euros) | |
| Exploitant | | | |
| • installations | 15 millions de DTS soit 17 millions d'euros | 91 | 700 |
| • transport, installations à risque réduit | 5 millions de DTS soit 6 millions d'euros (minimum) | 22 | 70-80 |
| État de l'exploitant | 175 millions de DTS soit 201 millions d'euros | 201 | 1 200 |
| Partie contractante | 300 millions de DTS soit 345 millions d'euros | 345 | 1 500 |

*Lecture* : Droits de tirages spéciaux du FMI, dont la valeur était fixée à parité avec le dollar américain dans le système de l'étalon-or et a été indexée sur un panier de monnaies depuis 1974. Le taux de conversion retenu ici est de 1,15 euro pour 1 DTS.

*Note sur les modifications prévues* : la 1re tranche (responsabilité de l'exploitant) serait portée à 700 millions d'euros minimum, la 2e tranche (à la charge de l'État de l'accident) à 500 millions d'euros minimum et la 3e tranche (contributions de toutes les parties contractantes) à 300 millions maximum. Le montant total de réparation devient donc 1,5 milliard d'euros.

*Source* : Auteurs.

## 4. L'action publique et les risques majeurs : conclusions et préconisations

### 4.1. Introduction

L'action publique en matière de risques majeurs peut viser n'importe quelle partie de la chaîne menant de la réalisation de l'aléa jusqu'à ses conséquences finales sur les enjeux, compte tenu de leur vulnérabilité. Nous avons convenu, à la section 1, d'analyser cette action selon les catégories suivantes :

- l'action *ex ante*, qui est constituée de l'évaluation et de la prévention du risque, se déroule avant l'occurrence de l'aléa ;
- l'action *intérim*, qui englobe l'alerte, la mitigation des dommages et la gestion des crises, est contingente à l'occurrence de l'aléa et vise à en anticiper les conséquences éventuelles, lorsque cela est possible, afin de les limiter ;
- l'action *ex post* vise à réparer les dommages en indemnisant les victimes et en réhabilitant les zones ou les biens affectés par l'aléa ;
- les mécanismes d'assurance et de responsabilité ont des effets *ex ante* et *ex post* à la fois, ce qui justifie de les considérer comme actions combinées.

En s'appuyant sur les descriptions et les premiers éléments d'évaluation proposés dans les sections précédentes, nous cherchons ici à établir un diagnostic sur les deux groupes d'action *ex ante* et *combinées* et à proposer des recommandations afin d'en corriger les défaillances éventuelles. Les autres catégories d'action, sur lesquels l'ingénierie et l'économie ont moins à dire, seront à peine évoquées.

Nous commençons par énoncer quelques principes qui nous semblent pouvoir servir de fils directeurs pour l'examen des politiques d'évaluation, de prévention et d'assurance des risques majeurs :

- il faut séparer l'évaluation et la gestion du risque, tout en veillant à leur bonne articulation ;
- les politiques de prévention doivent être guidées par une vision stratégique en matière de temps, lieu et action ;
- les différents modes d'action demandent à être équilibrés entre eux pour tenir compte à la fois de la contrainte budgétaire et de leurs interactions structurelles ;
- il faut rechercher des mécanismes de partage des risques qui internalisent mieux les externalités, et traite en particulier de la présence d'aléa moral, sans contrevenir à l'objectif de solidarité.

Les recommandations de cette section sont destinées aux autorités ayant en charge l'organisation générale de l'action publique en matière de risques majeurs : respectivement, le ministère du Développement durable pour les 4.2.1, 4.2.2, 4.3.1 et 4.3.2, l'Autorité de sûreté nucléaire pour le 4.2.3, le ministère des Finances pour le 4.4.

## 4.2. Préconisations relatives à l'évaluation des risques majeurs

### *4.2.1. Risques naturels*

#### 4.2.1.1. Diagnostic et recommandation relatifs aux outils et méthodes de l'évaluation

Le tableau 9 revient sur la caractérisation[237] des risques majeurs en France. Parmi les risques naturels, les autorités publiques ont sans doute porté la plus grande attention aux inondations et, quoique dans une moindre mesure, aux retraits et gonflements d'argiles, ce qui s'explique par l'homogénéité de la distribution des deux aléas sur le territoire et par l'importance des enjeux qu'ils affectent. *Or, même dans ces cas, l'information produite est parcellaire et ne permet pas de dégager une vision complète et homogène du risque à l'échelle nationale*. Nous illustrons ici notre propos par une étude plus approfondie des inondations.

L'évaluation des risques d'inondation connaît aujourd'hui d'importantes évolutions avec, d'une part, la mise en œuvre progressive des dispositions de la directive européenne et, d'autre part, les mesures engagées suite aux catastrophes de la tempête Xynthia et des inondations du Var en 2010. Pour mesurer la portée de ces deux réformes, il est nécessaire de revenir brièvement sur certains aspects techniques de l'évaluation des risques d'inondation par débordement de cours d'eau ou par submersion marine.

##### 4.2.1.1.1. Inondations par débordement de cours d'eau

Les dispositifs existants en matière de risques d'inondation par crue s'appuient en France sur plusieurs méthodes de caractérisation de l'aléa. Les atlas de zones inondables, qui sont déterminés par analyse hydro-géomorphologique ou, dans certains cas, par référence à une crue historique, n'ont pas d'usage réglementaire, mais servent à l'information du public et des collectivités territoriales. La méthode de l'enveloppe approchée des inondations potentielles, qui intègre des données d'origine diverses, est l'instrument de l'évaluation préliminaire des risques d'inondation (EPRI) aux fins d'identifier les territoires à risque important (TRI), dans le cadre de la transposition de la directive européenne sur les inondations. Ni les zones inondables ni l'enveloppe approchée des inondations potentielles ne tiennent compte de toutes les caractéristiques de l'aléa qui importent – elles négligent ainsi l'intensité et la cinétique – et elles ne correspondent pas toujours à une période de retour donnée. À ces deux notions, déclinées sur l'ensemble du territoire, il s'en ajoute d'autres, particulières à des mesures ou des programmes d'action locaux. L'aléa de référence des plans de prévention des risques d'inondation (PPRI) est la crue centennale, à moins que l'événement historique maximal ne lui soit supérieur. Les programmes d'actions de prévention contre les inondations (PAPI), qui sont élaborés à l'échelle des bassins versants, peuvent de leur côté prendre localement en

(237) Nous entendons par là une présentation synthétique d'éléments d'information sur le risque à destination des autorités publiques, des organismes privés ou de la population.

considération des événements de période de retour inférieure ou supérieure au siècle, en fonction de leurs objectifs finaux. Un même aléa, l'inondation provoquée dans une certaine zone par la crue d'un cours d'eau, peut ainsi faire l'objet de *quatre caractérisations différentes*, au demeurant toutes tronquées, puisqu'une évaluation complète de l'aléa consisterait en un ensemble d'inondations (c'est-à-dire de hauteurs d'eau en un point donné) considérées possibles, accompagné d'une distribution de probabilités.

En multipliant les approches distinctes de l'aléa pour chaque type de document et chaque usage, l'administration disperse ses ressources et elle opacifie l'information sur le risque pour ses usagers, élus locaux, entreprises ou particuliers. Il est vrai que la méthode a produit une somme appréciable d'informations qui pourrait servir de point de départ à une évaluation relativement exhaustive de l'aléa. Cependant, l'administration n'a pas entrepris le travail attendu de rassemblement et d'harmonisation des données. Cette lacune renvoie à l'amalgame institutionnel opéré en France entre évaluation et gestion du risque, dont nous traiterons en détail dans la suite.

En outre, jusqu'à une date récente, les dispositifs relatifs aux risques d'inondation se caractérisaient par un déficit de prise en compte des enjeux et de la vulnérabilité, les quelques indicateurs disponibles à l'échelon départemental (nombre de logements en zone inondable) étant trop grossiers pour servir à l'orientation des décisions pratiques[238]. Il en est résulté une vision trop partielle du risque, dans laquelle on en vient à considérer les enjeux de façon binaire : seraient également exposés et vulnérables à l'aléa tous les biens situés à l'intérieur d'une certaine délimitation administrative, et seraient également abrités du risque tous les biens situés à l'extérieur. Cette logique pousse le déterminisme à son comble. Elle peut convenir pour les objectifs les plus critiques de la prévention (comme la sauvegarde des vies humaines) mais, à l'évidence, elle n'est pas adaptée à une gestion proportionnée du risque.

Le déséquilibre d'ensemble devrait cependant s'atténuer avec la mise en œuvre des dispositions de la directive européenne sur les inondations, qui prône une évaluation plus complète de l'aléa, ainsi qu'une description des différentes catégories d'enjeux et de leur vulnérabilité dans les territoires les plus exposés (les TRI). Dans ce nouveau cadre, l'administration a notamment produit, en 2012, des cartes détaillées des surfaces de plain-pied qui sont exposées aux débordements de cours d'eau et aux submersions marines, et elle prépare, à l'échéance de fin 2013, une cartographie supplémentaire des aléas pour des événements fréquents (période de retour de 20 à 30 ans) et très rares (période de retour millénale). En l'état du programme de transposition de la directive, cependant, ces évaluations semblent devoir se cumuler aux mesures existantes du risque. L'harmonisation méthodologique qui permettrait de fonder les instruments opérationnels (PPRI, PAPI) sur une prise en compte à la fois cohérente et complète du risque reste à entreprendre.

(238) Il y a une prise en compte succincte et implicite des enjeux, puisque les PPR sont prescrits sur les territoires exposés les plus urbanisés, et que leur instruction donne lieu à l'identification des zones où des vies humaines paraissent exposées (« zones rouges »).

## 9. Méthodes existantes de caractérisation des risques majeurs en France

| Aléas par type de risque | Enjeux et vulnérabilité |
|---|---|
| Inondations par crue<br>• Atlas des zones inondables (analyse géomorphologique ou crue historique, déterministe) ; recensement de 73 % des communes exposées au 01/01/10 ; cartographie partielle au 1/25 000e (MEEDDM)<br>• Enveloppe approchée des inondations potentielles (EAIP) (limites déterministes de l'événement maximal, obtenues par fusion de données de provenances diverses) ; couverture nationale ; caractérisation des aléas au 1/100 000e (ou plus) en cours<br>• Détermination et cartographie de l'aléa de référence des PPRI ; couverture locale | • Estimation du nombre de logements en zone inondable par département (MEEDDM)<br>• Identification et cartographie des enjeux et mesure d'indicateurs de vulnérabilité à l'intérieur des EAIP en cours |
| Inondations par submersion marine<br>• Enveloppe approchée des inondations potentielles (EAIP) (limites déterministes de l'événement maximal, obtenues par fusion de données de provenances diverses) ; couverture nationale ; caractérisation des aléas au 1/100 000e (ou plus) en cours<br>• Détermination et cartographie de l'aléa de référence des PPRL ou PPRSM ; couverture locale<br>• Cartographie des « zones basses » par recoupement entre niveaux marins extrêmes et topographie | • Identification et cartographie des enjeux et mesure d'indicateurs de vulnérabilité à l'intérieur des EAIP en cours |
| Mouvements de terrain<br>• Recensement de la sinistralité passée due aux glissements de terrain, éboulements, érosions (www.bdmvt.net) et aux cavités (www.bdcavite.net) sans évaluation de l'aléa<br>• Évaluation de l'aléa retraits et gonflements d'argiles sur l'ensemble du territoire métropolitain (méthode probabiliste) ; cartographie au 1/50 000e (www.argiles.fr) | • Estimation du nombre de logements individuels par niveau d'intensité de l'aléa retraits et gonflements d'argile par département (MEEDDM) |

| | |
|---|---|
| Séismes<br>• Zonage sismique (méthode probabiliste) ; découpage du territoire national en grandes zones à l'intérieur desquelles la sismicité est considérée homogène (MEEDDM) | |
| Avalanches<br>• Recensement de la sinistralité passée (extension maximale des événements) sans évaluation de l'aléa (cartorisque.prim.net) ; couverture nationale | |
| Volcans<br>• Cartes locales | |
| Feux de forêt<br>• Indice forêt météo (correspondant à une évaluation probabiliste de l'aléa) et carte rétrospective de cette statistique sur l'ensemble du territoire (Météo France) | |
| Installations classées<br>• Carte de localisation des établissements Seveso de seuil haut ou bas sur le territoire (MEEDDM)<br>• Carte de localisation des barrages en fonction de leur classe (hauteur) (MEEDDM)<br>• Inventaire partiel des digues (MEEDDM)<br>• Détermination et cartographie des aléas dans le cadre des PPRT pour les communes concernées | • Carte de densité de population croisée avec le nombre d'établissements Seveso par département (MEEDDM)<br>• Identification et cartographie des enjeux dans le cadre des PPRT |
| Installations nucléaires de base<br>• Carte de localisation des installations nucléaires de base (ASN) | • Carte de la population vivant à proximité des installations nucléaires de base |

*Source* : Auteurs.

4.2.1.1.2. Inondations par submersion marine

L'évaluation de l'aléa de submersion marine, par contraste, fait appel à une méthodologie unique. Celle-ci consiste à superposer un niveau de mer extrême, que l'on estime correspondre à une certaine période de retour, à la topographie locale. Pour calculer le premier terme, on considère séparément la marée astronomique, grandeur déterministe, et la surcote(239), grandeur aléatoire dont on détermine statistiquement la distribution. En l'état des connaissances, l'approche comporte certaines hypothèses simplificatrices et approximations qui sont autant de sources d'incertitude : on stipule généralement que la marée et la surcote sont indépendantes, alors que des interactions entre elles sont possibles ; on ignore, sauf exception, l'effet de la houle sur le niveau moyen de mer(240) ; on est amené à extrapoler des séries temporelles courtes, souvent incomplètes et qui comportent parfois des valeurs inexplicablement élevées (CETMF, 2012)(241). Jusqu'en 2011, la réglementation française définissait l'aléa de référence des PPR comme l'événement centennal estimé selon cette méthode, à moins que l'événement historique le plus important lui soit supérieur, sans disposition particulière pour tenir compte des limites et incertitudes évoquées. Il en résultait une sous-évaluation des maxima observés dès lors que de fortes marées s'ajoutent à des vents violents, comme cela fut le cas en février 2010 lors de la tempête Xynthia(242). Ainsi que l'a relevé la mission interministérielle chargée du retour d'expérience après cette catastrophe, les cotes relevées lors de la tempête ont dépassé, en Vendée comme en Charente-Maritime, les aléas de référence des AZI et des PPR existants, sans pour autant paraître exceptionnelles au vu des événements survenus dans un passé récent (notamment les tempêtes de 1999). Les auteurs du rapport ont donc incriminé le choix de l'aléa de référence et, plus spécifiquement, contesté les modalités de prise en compte de l'incertitude, en jugeant que la méthode employée « ne rend(ait) pas compte avec un intervalle de confiance raisonnable des aléas centennaux »(243).

Les évaluations de risques de submersion marine comportent une autre limite : elles ne prennent pas en compte les effets du réchauffement climatique et, plus précisément, l'accélération de la remontée du niveau de la mer qui se réalisera probablement dans les décennies à venir.

Les changements méthodologiques introduits depuis l'été 2011 ont cherché à corriger ces deux insuffisances. L'exposé des motifs de la circulaire du 27 juillet 2011 les reconnaît franchement : « les inondations consécutives à la tempête Xynthia de février 2010 ont mis en évidence les limites de la politique de prévention du risque de submersion marine menée jusqu'alors. En parti-

(239) La *surcote* marine est l'écart entre le niveau de la mer observé (hors houle) et le niveau théorique correspondant au coefficient de marée. Elle est influencée, entre autres facteurs, par la pression atmosphérique et le vent. Les estimations existantes se placent en général sous l'hypothèse d'indépendance entre la surcote et le niveau de marée en dehors des estuaires.

(240) On désigne fréquemment cet effet par le terme anglais de *wave setup*.

(241) On désigne ces valeurs extrêmes du niveau de mer du nom de *horsains*.

(242) Sur le littoral atlantique, ces épisodes ont été répertoriés de longue date et prennent le nom de *vimers*.

(243) Bersani et *al*. (2010).

culier, le cadre méthodologique, datant de 1997, doit être réactualisé. (…) Au regard de l'impact prévisible fort du changement climatique sur la configuration des côtes basses, il convient dès à présent, conformément aux préconisations du plan national d'adaptation au changement climatique, d'intégrer l'impact du changement climatique sur l'aléa 'submersion marine' dans les plans de prévention des risques littoraux »[244]. La circulaire a notamment requis que :

- la méthode d'estimation de l'aléa de référence intègre désormais l'effet de la houle, et applique au niveau marin de référence une surcote systématique de 20 cm, justifiée par les effets déjà acquis du changement climatique ;
- les PPR distinguent, à travers les deux catégories d'aléa modéré et fort, de caractéristiques telles que la vitesse de submersion ou les possibilités d'évacuation ;
- les PPR définissent en outre un aléa à l'horizon 2100 en guise d'indication des effets possibles du réchauffement climatique, en se fondant sur le scénario pessimiste retenu par l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC), dans lequel le niveau moyen de la mer augmenterait de 60 cm d'ici à la fin du siècle.

Cette correction heureuse, qui ne s'appliquera aux PPR déjà approuvés qu'à l'occasion de révisions futures, ne résout cependant pas toutes les difficultés liées au traitement sommaire de l'incertitude et au caractère statique de l'évaluation.

4.2.1.1.3. Synthèse et recommandation

Il serait, en résumé, souhaitable de ne pas considérer les réformes en cours dans l'évaluation des risques d'inondation comme un aboutissement, mais plutôt *comme les premières étapes d'une entreprise plus ambitieuse de connaissance des risques naturels majeurs*. Ce constat s'applique *a fortiori* aux autres risques naturels, dont l'évaluation présente peu ou prou les mêmes faiblesses que celle des inondations et dont le caractère plus localisé (volcans, tempêtes, séismes) ou moins meurtrier (retraits et gonflements d'argile, feux de forêt) ne doit pas conduire à les négliger.

L'enjeu fondamental de cette entreprise est, comme nous l'expliciterons dans la suite, de permettre aux acteurs privés et publics de fonder leurs choix sur une information plus précise, plus exhaustive et plus homogène sur le risque. Il s'agit non seulement de mesurer de façon cohérente les composantes du risque que sont l'aléa, les enjeux et leur vulnérabilité, mais aussi d'adjoindre deux nouvelles dimensions à cette mesure : l'incertitude dont elle fait l'objet et sa dynamique temporelle. Dans le premier cas, on doit veiller à mieux mettre en lumière les limites des connaissances relatives aux risques majeurs et à en tirer des conclusions pratiques. Dans le second, l'objectif est de renforcer les capacités de mesure, de suivi et de prévision des phénomènes afin de mieux cerner les influences de long terme, telles que le changement climatique, l'urbanisation et les mutations démographiques.

(244) Circulaire du 27/07/2011 relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les plans de prévention des risques naturels littoraux.

**Recommandation 1**

- Développer les méthodes et les outils d'évaluation des risques.
- Identifier et évaluer mieux les enjeux et suivre leur évolution au cours du temps pour les principaux risques naturels, notamment en exploitant les bases de données existantes (INSEE, IGN).
- Développer des indicateurs nouveaux de vulnérabilité pour chacun des principaux risques naturels et suivre de même leur évolution ; intégrer ces mesures aux évaluations globales de risque en faisant place au point de vue probabiliste.
- Intégrer plus systématiquement l'incertitude dans les évaluations de risque.
- Améliorer la collecte et surtout le partage des données utiles à l'évaluation des risques, de manière qu'elles ne restent pas limitées par leur destination administrative initiale.

#### 4.2.1.2. Diagnostic et recommandation relatifs à l'organisation institutionnelle de l'évaluation

L'évaluation des risques naturels est pilotée, à l'échelon central, par la DGPR, qui encadre en particulier le processus d'élaboration des PPR. À l'échelon local, les principaux services déconcentrés qui interviennent sur les risques naturels sont la direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) et la direction départementale des Territoires (DDT, ou direction départementale des Territoires et de la Mer, DDTM). La DREAL est placée sous l'autorité du préfet de région, et la DDT sous l'autorité du préfet de département. Les DDT sont les acteurs centraux dans l'élaboration et la mise en œuvre des PPR. Les deux directions participent à tout le processus des PPR et sont donc engagées à la fois dans la détermination de l'aléa de référence de ces PPR (évaluation) et la mise au point de leurs règlements (mesures de prévention). Nous présentons ici deux familles d'arguments pour modifier cette architecture. *Notre objectif est de séparer l'évaluation et la gestion tout en respectant les spécificités des risques naturels, qui commandent la proximité des deux activités à l'échelon local.*

##### 4.2.1.2.1. Raisons stratégiques

La réforme s'impose non pas pour des raisons de compétence technique, mais du fait des interactions stratégiques auxquelles se prête l'enchevêtrement actuel des deux types d'activité.

L'expérience des crues a montré que les niveaux d'aléa retenu et la délimitation des zones bleues et rouges dans les PPR peuvent être exagé-

rément optimistes et entraîner de ce fait une défaillance de l'ensemble de la prévention[245]. Comme nous l'avons dit plus haut, l'imprécision dans le tracé des zones de moindre risque peut résulter d'un traitement imprudent de l'incertitude scientifique inhérente à ce type d'exercice. Le plus souvent, toutefois, elle coïncide avec une modification des tracés d'origine concédée par l'administration à la suite de pressions d'élus locaux et de riverains. La mission d'inspection sur les inondations du Var en 2010 pointait ainsi « une négociation inopportune sur l'aléa de référence et la prise en compte de la vulnérabilité et des enjeux dans les 'zones de danger' »[246]. Ce constat semblait répondre au vœu formulé presque dix ans plus tôt à l'occasion d'un autre rapport de retour d'expérience : « [Le ministère] doit rappeler qu'à l'occasion de l'élaboration des PPR, l'aléa n'est pas négociable. (…) Là où des vies humaines seraient menacées (…), la non-constructibilité doit être la règle dans les PPR »[247].

Ce vœu risque fort de rester pieux si la détermination de l'aléa de référence, *que l'on voudrait objective*, engage les mêmes acteurs, s'inscrit dans le même processus et prend valeur réglementaire à travers les mêmes documents administratifs que des mesures de prévention qui, par nature, doivent faire l'objet d'une négociation avec les acteurs locaux. La séparation préconisée serait d'autant plus efficace que les services de l'État verraient leurs responsabilités et leurs programmes de travail formellement distingués. En particulier, *l'évaluation de l'aléa ne concorderait plus avec la phase d'instruction d'un PPR*.

#### 4.2.1.2.2. Raisons portant sur l'expertise

L'évaluation des risques naturels donne aujourd'hui lieu au vaste chantier intellectuel dont nous avons donné l'aperçu en évoquant la directive européenne et sa transposition. Le travail pour élaborer de nouveaux PPR devra se poursuivre en s'appuyant sur les méthodes jugées les plus sûres, comme le cas des submersions marines l'a illustré. De façon plus générale, des besoins importants se dessinent dans l'expertise du risque et la recherche scientifique et technique dont elle dépend. L'insuffisance de la culture du risque fait partie des principaux facteurs aggravants du risque même,et pour l'améliorer au sein de la population, il faut commencer par rationaliser l'information, et donc par et harmoniser les pratiques de caractérisation de l'aléa.

(245) Mission d'inspection sur la tempête Xynthia (2010) et Mission d'expertise sur les crues de septembre 2002 (2003, p. 86).

(246) Mission d'inspection sur les inondations du Var (2010).

(247) Inspection générale de l'administration et *al*. (2002).

Telle qu'elle fonctionne aujourd'hui, l'évaluation publique des risques ne semble plus à la hauteur des tâches, et le recours, que l'on constate déjà, aux bureaux d'étude et aux cabinets de consultants, risque d'aggraver encore sa fragmentation et son hétérogénéité[248]. La meilleure réponse est à notre sens *la création d'un service spécialisé dans l'évaluation des risques naturels*. À en juger par la dispersion actuelle des ressources, le regroupement de l'ensemble des activités d'évaluation des risques naturels devrait entraîner des économies d'échelle en même temps que des gains de contenu non négligeables. À côté des études scientifiques et techniques attendues de sa part, un tel service pourrait favoriser *l'analyse économique de la prévention*, qui n'est pas aujourd'hui dans un état satisfaisant[249] La production d'un guide méthodologique[250] de calcul coûts-bénéfices est un premier pas dans le sens d'une correction de ce déficit. Néanmoins, il semble que l'obstacle principal demeure l'absence d'une méthode unifiée et cohérente de collecte et de synthèse des données primaires, et le service spécialisé que nous appelons de nos vœux aurait pour mission de la définir et de l'appliquer, en partenariat avec d'autres parties prenantes de l'expertise (services techniques du ministère, Météo France, SHOM, BRGM, IRSTEA[251]), avec le secteur de l'assurance (CCR, compagnies d'assurance), avec l'Observatoire des risques naturels et, enfin, l'INSEE.

#### 4.2.1.2.3. Synthèse et recommandation

Il existe donc un faisceau d'arguments pour créer, au sein de l'administration publique, un pôle d'évaluation des risques naturels qui soit clairement distinct des services en charge de la gestion des risques. On peut, en particulier, attendre du fonctionnement de ce pôle qu'il atténue la capture de la réglementation au moment crucial de la préparation des PPR[252]. La séparation doit toutefois tenir compte des spécificités des risques naturels, dont l'évaluation suppose une parfaite connaissance du terrain et peut donc

(248) Voir, à ce sujet, les critiques de la Cour des comptes (2012b) à propos de la détermination de l'aléa de référence dans le PPRI de la commune de Draguignan.

(249) Les travaux recensés par Ledoux et *al*. (2007) révèlent une littérature économique active sur les catastrophes naturelles, mais qui touche rarement aux aspects économiques de la prévention. Les travaux de Sogreah (2002) et Erdlenbruch et *al*. (2008) constituent néanmoins des exceptions.

(250) Dans le cadre des PAPI, le ministère du Développement durable a developpé un guide méthodologique pour l'évaluation des coûts et bénéfices des actions de prévention contre les inondations, *cf*. http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-programmes-d-actions-de,24021.html

(251) Respectivement Service hydrographique et océanographique de la marine, Bureau des recherches géologiques et minières et Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (nouvelle dénomination du Centre national du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et des forêts, ou CEMAGREF).

(252) On parle de capture de la réglementation lorsqu'un agent parvient à en influencer l'orientation, au stade de l'élaboration ou à celui de la mise en œuvre, dans un sens conforme à des intérêts particuliers.

bénéficier de la surveillance des phénomènes et même d'une implication directe dans la gestion. Le service d'évaluation des risques naturels devrait donc demeurer un service déconcentré, travaillant de façon étroite avec les acteurs publics chargés de la prévention et de la gestion de crise.

**Recommandation 2**

- Créer un pôle d'évaluation des risques naturels majeurs, clairement séparé des instances de gestion, au sein de l'administration de l'environnement.
- Regrouper toutes les activités d'évaluation, de surveillance et de cartographie de ces risques menées par le ministère du développement durable au sein d'un pôle régional rattaché à la DREAL et coordonné au niveau central par un service de l'évaluation créé au sein de la DGPR.
- Charger ce pôle de la collecte et de l'harmonisation des évaluations existantes des aléas d'inondation sur l'ensemble du territoire.
- Le charger aussi de l'évaluation économique des mesures de prévention, ainsi que de la collecte et de la synthèse des données relatives aux dommages.
- Mettre en place des réseaux de partage d'expertise et de données entre ce pôle et les autres entités publiques impliquées dans l'expertise des risques naturels majeurs (Météo France, BRGM, IRSTEA, CCR, Observatoire des risques naturels).

### *4.2.2. Risques technologiques*

#### 4.2.2.1. Diagnostic et recommandation relatifs aux méthodologies d'évaluation

Les risques technologiques se distinguent des deux autres types de risques considérés dans ce rapport d'une façon qui n'est guère favorable à leur analyse : les accidents majeurs surviennent avec une fréquence bien moindre que la plupart des aléas naturels, de sorte que l'expérience relative à leurs conséquences est limitée, surtout si l'on s'intéresse aux mesures quantifiées ; les dommages causés par un accident sont, par ailleurs, très limités par rapport à ceux d'un accident nucléaire, de sorte qu'ils ne justifient pas un investissement comparable en analyse de la sûreté. Il n'est donc pas anormal que l'évaluation des risques technologiques accuse un certain retard en comparaison des autres.

Ceci étant précisé, l'évaluation des risques technologiques a enregistré au cours des deux dernières décennies une évolution continue qui est très significative sur le plan des normes réglementaires. Comme les sections 1 et

3 l'ont montré en détail, la transposition de la directive européenne Seveso II, ainsi que la loi de 2003 avec ses décrets d'application, se sont traduites par une prise en compte plus complète du risque, soit dans les études de danger, soit au travers de nouveaux instruments administratifs.

En cherchant surtout à identifier les séquences accidentelles, les études de danger s'étaient initialement rattachées à une approche déterministe du risque, et par ailleurs, elles n'avaient pas tout de suite pris la mesure convenable des enjeux et de leur vulnérabilité. Nous avons indiqué les progrès accomplis. Les pouvoirs publics ne se sont pas arrêtés là, puisque les plans de prévention des risques technologiques (PPRT), instaurés en 2003, permettent de superposer des cartes d'aléas et d'enjeux et d'évaluer des coûts qui n'entrent pas dans les études de danger (comme ceux des mesures foncières à mettre en œuvre). La loi de 2003 se proposait ici d'apporter « toutes les informations nécessaires aux différents acteurs concernés (…) afin de choisir les différentes orientations du plan »(253). Les PPRT vont plus loin vers la caractérisation complète du risque que les PPRN dont ils s'inspirent, mais il est aussi vrai que les zones d'enjeux exposés sont considérablement moins étendues que pour la plupart des risques naturels.

Des textes réglementaires importants sont venus renforcer cette avancée en accusant l'orientation probabiliste voulue par la directive européenne et en élargissant encore le traitement des enjeux et de la vulnérabilité. Le décret de septembre 2005 sur les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) fait le lien entre l'étude de danger et le risque résiduel que l'installation engendre pour son environnement. Précisant ce lien, un arrêté ministériel de la même date requiert que les probabilités d'accidents susceptibles d'affecter les personnes à l'extérieur de l'établissement soient évaluées au moins qualitativement. À la section 1, nous avons pris ces documents comme exemplaires des transformations du droit français récent(254).

#### 4.2.2.1.1. Synthèse et recommandation

L'heure est aujourd'hui à un état des lieux qui mette en lumière les conséquences effectives des changements du droit. Les PPRT déjà prescrits semblent avoir donné lieu à un recensement systématique du bâti et de ses usages, ainsi que, sur le plan préventif, à des aménagements d'urbanisme importants à proximité des installations classées, y compris par des mesures de délaissement ou d'expropriation. Il manque, cependant, une vue d'ensemble de ces dispositions, et il n'existe toujours pas d'indicateur systématique de vulnérabilité. L'absence d'un cadre méthodologique fixé contribue probablement à ces lacunes. Des propositions découlent naturellement de ce diagnostic.

(253) Ministère de l'Écologie et du Développement durable et ministère du Transport, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer (2005).

(254) En matière d'enjeux, l'arrêté du 29/09/2005 élargit l'ensemble des enjeux pris en considération en substituant les intérêts établis dans l'article 511-1 du Code de l'environnement à une définition plus étroite des impacts sur la santé humaine et l'environnement.

**Recommandation 3**

- Évaluer et consolider les effets des changements survenus depuis 2000 dans l'évaluation des risques technologiques.
- Faire la synthèse des changements méthodologiques introduits, notamment du rôle accru donné à la probabilité.
- Développer et publier des indicateurs normalisés de vulnérabilité et de risque résiduel.
- Recenser les données existantes en France et à l'étranger sur le coût des mesures de prévention.

#### 4.2.2.2. Diagnostic et recommandation relatifs à l'organisation de l'évaluation

L'évaluation des risques créés par une ICPE relève d'abord de la responsabilité et des compétences de son exploitant, dans le cadre défini par la loi et la réglementation et sous le contrôle de l'Inspection des installations classées. Cette part de l'évaluation, qui se limite aux considérations de sûreté à l'intérieur du site, n'appelle pas de commentaire particulier sur le plan de l'organisation. Pour ce qui est de l'extérieur du site, les services déconcentrés impliqués dans l'évaluation sont principalement les mêmes que dans le cas des risques naturels : la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) et les directions départementales des territoires (DDT, ou directions départementales des territoires et de la mer, DDTM). La DREAL regroupe les compétences dans les domaines de la chimie, de l'agronomie et des travaux publics, et elle comprend aussi l'unité territoriale de l'Inspection des installations classées, avec laquelle elle pilote l'élaboration des PPRT. La DDT, de son côté, concentre les compétences en urbanisme et détermine le règlement (mesures de prévention) des PPRT.

##### Synthèse et recommandation

L'enchevêtrement des rôles en matière d'évaluation et de prévention est moindre ici que dans le cas des risques naturels, de même que l'éventuelle capture de la réglementation. Il reste cependant à se donner les moyens d'une évaluation plus satisfaisante des risques technologiques, et ces moyens sont les même que pour les risques naturels.

**Recommandation 4**

- Appliquer les trois premiers points de la recommandation 2 aux risques technologiques majeurs.
- Organiser le partage d'expertise et de données entre les nouveaux organes et les autres entités publiques d'expertise (INERIS, BRGM, BARPI)(*).
- Tout en maintenant les services séparés, développer les synergies et l'échange d'informations entre les nouveaux organes et l'inspection des ICPE.

(*) Bureau d'analyse des risques et pollutions industrielles au sein de la DGPR.

### *4.2.3. Risques nucléaires*

L'évaluation des risques nucléaires est en premier lieu une responsabilité des exploitants, comme pour les risques technologiques. C'est l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) qui en fixe le cadre réglementaire et contrôle la mise en œuvre, en s'appuyant sur l'expertise de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et les avis des groupes permanents d'experts (section 3). Cette organisation institutionnelle, qui se caractérise par l'indépendance de l'autorité de sûreté et la constitution d'un important pôle public d'expertise, constitue un progrès important par rapport à la confusion antérieure des rôles. Nous nous concentrons dans la suite sur les méthodes d'évaluation de la sûreté dans les centrales, qui sont en cours de révision depuis Fukushima, et sur la mesure encore imparfaite des conséquences dommageables d'un accident majeur.

#### 4.2.3.1. Révision de la doctrine de sûreté après Fukushima

L'accident de Fukushima a, jusqu'ici, été porteur de trois grandes leçons pour les méthodes d'analyse de la sûreté nucléaire : l'insuffisance potentielle des marges de sûreté face aux agressions extérieures d'ampleur exceptionnelle ; la vulnérabilité des centrales à l'égard d'accidents qui dépassent leurs niveaux de dimensionnement ; enfin le débordement de la gestion de crise lorsque les circonstances défavorables se cumulent. Ces faiblesses ont justifié les tests de résistance (*stress tests*) menés dans les centrales européennes en 2011 et 2012 à la demande du Conseil européen et selon les spécifications définies par l'Association des autorités de sûreté d'Europe de l'Ouest (WENRA). En France, les évaluations complémentaires de sûreté (ECS) ont conduit à réviser la doctrine officielle de sûreté nucléaire, en faisant par exemple surgir un concept de « noyau dur » d'équipements et

de systèmes. Au-delà de ces enseignements spécifiques, largement centrés sur le rôle d'aléas naturels exceptionnels, l'accident est porteur de messages plus généraux.

Avant l'accident, l'entreprise TEPCO, exploitante de Fukushima Daiichi, estimait que la probabilité d'un tremblement de terre dépassant le dimensionnement sismique de la centrale était comprise entre $10^{-6}$ et $10^{-4}$ par an, ses analyses officielles excluaient *de facto* que le dimensionnement prévu pour un tsunami soit dépassé. L'autorité de sûreté japonaise (*Nuclear and Industrial Safety Agency*) avait accepté ces évaluations, alors que certains sismologues considéraient au contraire qu'un événement simultané d'une telle amplitude se produisait tous les mille ans environ sur la côte Nord-Est du Japon, et que son occurrence dans les années à venir n'était aucunement exclue(255). Il y avait donc, dans ce domaine, une possibilité scientifique ignorée des analyses de sûreté – et non pas simplement l'occurrence d'un phénomène extrêmement rare.

Par ailleurs, l'une des hypothèses cruciales qui fondent la défense en profondeur est l'indépendance des lignes de défense, en d'autres termes le fait qu'un événement ne puisse affecter à lui seul des systèmes impliqués dans plus d'une ligne. *Cette hypothèse a été précisément violée à Fukushima*, puisque le séisme et le tsunami ont mis à bas l'ensemble des lignes de défense des six réacteurs(256), créant ainsi la plus grande défaillance de cause commune de l'histoire de l'industrie nucléaire. On a vu que des lignes prévues pour tomber successivement pouvaient céder d'un coup, et qu'il était possible de passer brusquement du mode opérationnel de la centrale à sa défaillance totale (« effet-falaise »). Or il n'y a aucune raison *a priori* de penser que les seules sources de cette fragilité soient les agressions extérieures, et non d'autres événements hors dimensionnement.

Ces interrogations amènent l'une et l'autre à constater une faiblesse originelle du mode de raisonnement déterministe sur lequel repose la défense en profondeur : il exclut des événements du champ de l'analyse sans chercher à estimer leur probabilité ou à évaluer les conséquences qu'aurait leur survenue. La méthode a certes été enrichie grâce aux évaluations probabilistes de sûreté (EPS), mais elle conserve des lacunes. Tout d'abord, les méthodes probabilistes comportent des incertitudes, relatives pour certaines à la valeur de paramètres et pour d'autres aux hypothèses de modélisation, et il conviendrait d'étudier ces incertitudes par des méthodes de propagation ou d'analyse de sensibilité. Ensuite, les EPS réalisées en France, qui sont

(255) Voir Le Pichon et *al*. (1998) et Minoura et *al*. (2001).

(256) À l'exception notable d'un générateur diesel de l'unité 6, qui a permis aux équipes de conduite d'arrêter les unités 5 et 6.

d'une grande qualité, sont aussi limitées dans leur champ : elles excluent les agressions internes (incendie, inondation interne, fumée) et externes (séisme, inondation externe). On peut de ce fait considérer que *la défense en profondeur n'est pas complètement mise à l'épreuve même après les ECS*. En corollaire, il n'existe pas d'estimation fiable de la probabilité d'un accident grave avec rejets incontrôlés de matières radioactives en France. Enfin, les analyses d'ensemble ne tiennent pas compte de l'effet cumulé des modifications apportées au fil du temps aux structures et à l'organisation intérieure des centrales, notamment sous l'impulsion des instances de contrôle. Les interrogations de l'IRSN relatives aux « écarts de conformité » des installations nucléaires portaient là-dessus (voir section 3).

Enfin, il semble nécessaire d'ajouter à la liste provisoire des enseignements de Fukushima certains aspects institutionnels en cause dans l'accident, notamment la relation d'agence entre autorités de sûreté et exploitants, avec les problèmes d'*asymétrie d'information* qui l'accompagnent. L'organisation triangulaire originale que la France applique, fondée sur la séparation de l'exploitant (EDF), du contrôleur (ASN) et de l'expert indépendant (IRSN), offre des garanties en cette matière. Mais il subsiste des faiblesses dans les évaluations disponibles du coût de l'énergie nucléaire, y compris celle de la Cour des comptes en 2012, et certaines de ces faiblesses – non pas toutes – renvoient précisément à une asymétrie caractéristique d'information. Des données aussi fondamentales que la durée de vie des centrales, les coûts de démantèlement et ceux de l'affectation des déchets se trouvent aujourd'hui fixées par l'exploitant après accord de sa tutelle. Elles doivent faire l'objet d'une expertise tout aussi approfondie que les données relatives au renforcement de la sûreté. L'ouverture des marchés de l'électricité rend ce supplément d'analyse d'autant plus urgent que l'exploitant peut être tenté de calibrer stratégiquement ses dernières estimations de coût global – en substance, de manière qu'elles soient assez élevées pour décourager les entrants, et assez basses toutefois pour encourager la classe politique à préserver la filière nucléaire.

## Synthèse et recommandation

Il semble nécessaire de poursuivre et d'amplifier la révision de la doctrine de sûreté nucléaire entreprise après Fukushima, en faisant un plus grand usage des outils probabilistes, en examinant mieux les hypothèses sous-jacentes à l'analyse de sûreté et en prenant en compte des asymétries d'information négligées jusqu'à ce jour.

**Recommandation 5**

- Poursuivre la rénovation de l'analyse de sûreté telle qu'elle a été entreprise à l'occasion des évaluations complémentaires de sûreté, et revoir en particulier les fondements logiques de la défense en profondeur.
- Étendre les évaluations probabilistes de sûreté aux agressions internes et externes, ainsi qu'aux écarts de conformité.
- Chercher à identifier les incertitudes de modélisation en les articulant sur les incertitudes paramétriques mieux comprises.
- À l'occasion de l'ouverture des marchés de l'électricité, reprendre les évaluations du coût de l'électricité nucléaire en tenant compte de l'asymétrie d'information qui entache actuellement les données de long terme.

#### 4.2.3.2. Conséquences d'un accident nucléaire

L'évaluation complète du risque nucléaire nécessite d'associer un ensemble de conséquences aux scénarios de rejets correspondant à chaque type d'accident (les « termes source »), dont on aura par ailleurs estimé les probabilités. C'est l'objet de l'EPS de niveau 3, qui cherche à décrire les conséquences des accidents au-delà du confinement d'un réacteur en faisant appel à des modèles de dispersion de la matière radioactive et d'impact sur la santé humaine, sur les écosystèmes et les valeurs socio-économiques affectées. L'EPS comprend en outre une estimation du coût des mesures de gestion de crise (évacuation, soins d'urgence, etc.). L'évaluation de la plupart des conséquences est délicate et incertaine. Les effets sanitaires d'une exposition à de faibles doses de rayonnement sont notoirement mal connus, et il en est de même pour les effets environnementaux. Les répercussions secondaires d'un accident nucléaire majeur ne sont pas du tout négligeables, mais ne se prêtent qu'à des calculs hypothétiques : relocalisation de populations potentiellement importantes, perte des ressources productives d'une région ; conséquences pour l'image de la région et même du pays affecté ; impacts à court et à long terme sur le marché de l'énergie. La plupart des EPS existantes ne vont pas jusque-là et elles n'estiment de ce fait qu'une partie du risque nucléaire. Si l'exercice mérite à notre sens d'être conduit en dépit de ces difficultés, c'est qu'il fournit des ordres de grandeur qui permettent de calibrer et de hiérarchiser des investissements de sûreté. Il s'y ajoute le fait qu'il prépare utilement à la gestion de crise, alors qu'on se contente aujourd'hui de l'envisager sous l'angle des risques sanitaires de court terme et seulement aux abords de la centrale.

Les autorités françaises de sûreté n'ont jamais décidé du lancement d'une EPS de niveau 3. Cependant, l'IRSN a mené au cours des années récentes un exercice d'estimation des coûts économiques d'un accident, auquel nous avons déjà fait référence dans ce rapport (3.5.2). Ce premier

chiffrage, dont le détail et la méthodologie n'ont pas été rendus publics à ce jour, semble se fonder sur un nombre encore trop restreint de scénarios d'accident conventionnel.

Synthèse et recommandation

Il serait utile de publier les travaux récents de l'IRSN, de les affiner en les reliant à un ensemble de scénarios réalistes d'accident et en les appliquant spécifiquement au cas de chaque centrale française, et d'encourager l'émergence d'autres pôles d'expertise sur ce sujet.

**Recommandation 6**

- Utiliser et approfondir le travail entrepris par l'IRSN dans le domaine de l'évaluation des conséquences dommageables. En préparation d'une évaluation probabiliste de sûreté de niveau 3, veiller particulièrement à :
  - intégrer des scénarios d'accidents et des hypothèses de localisation plus réalistes ;
  - développer mieux l'évaluation économique des dommages ;
  - transposer déjà ce travail à la gestion de crise, qui étendra ainsi les événements qu'elle prend en compte.

## 4.3. Préconisations relatives à la prévention des risques majeurs

### *4.3.1. Risques naturels*

Depuis leur introduction en 1995, les plans de prévention des risques naturels (PPRN) ont bénéficié de l'engagement constant des gouvernements successifs, qui en ont fait la clé de voûte de la politique française de prévention des risques naturels. Leur processus d'élaboration et d'adoption, qui a concerné à ce jour plus de 3 600 communes, aura nécessité un investissement considérable de la part des services de l'État et des collectivités territoriales. Le bilan de cet effort nous semble pourtant mitigé. Alors que les PPRN ont été conçus dans l'objectif quasi exclusif de protéger les vies humaines, le bilan humain des catastrophes naturelles, principalement des inondations, n'est pas insignifiant. Par ailleurs, dans les zones exposées à des risques moindres que la perte de vies humaines, les PPRN n'ont pas suffisamment permis de limiter l'urbanisation et de réduire la vulnérabilité dans le bâti existant. Relevées de longue date par les rapports d'inspection et les retours d'expérience, ces faiblesses tiennent à la fois au contenu des plans et à l'organisation plus générale de la prévention. Nous abordons ici tour à tour ces deux points.

#### 4.3.1.1. Diagnostic et recommandation relatifs aux mesures de prévention

L'un des principaux reproches adressés aux PPRN est l'influence exercée par les élus locaux, les entreprises et les particuliers sur la définition de l'aléa. La séparation prônée entre caractérisation de l'aléa et détermination des mesures préventives répond à ce problème. Cependant, en supposant même que leur doctrine officielle s'applique sans aucune altération, les PPRN relèveraient d'une démarche de *prévention nécessaire mais non suffisante*. Comme il a été observé lors des événements de septembre 2002 en Languedoc-Roussillon, les plans de prévention des risques d'inondation (PPRI, cas particuliers de PPRN) n'interdisent pas la construction dans des zones inondables bleues, c'est-à-dire ne présentant pas de risque direct pour les vies humaines, bien que des mesures de précaution soient éventuellement imposées(257). De ce fait, les PPRI ne constituent pas une garantie systématique de contrôle de l'urbanisation en zone inondable. À titre d'exemple, la circulaire du 30 avril 2002(258) aménage dans les termes suivants le principe d'inconstructibilité derrière les digues : « dans les secteurs déjà urbanisés et dans le respect du principe de limitation de l'urbanisation en zone inondable ou submersible, des constructions peuvent être autorisées dans les conditions suivantes (suivent des conditions principalement relatives à la protection de la vie humaine) ».

Les PPRI ne suivent pas une logique d'optimisation économique, qui conduirait à clarifier les conditions dans lesquelles l'urbanisation est justifiée. Le problème semble particulièrement aigu dans les régions où la pression démographique impose une expansion continue des zones d'occupation. Dans les quatre départements de l'Aude, du Gard, de l'Hérault et des Pyrénées orientales, 384 100 personnes (17 % de la population) vivaient en 2002 en zone inondable, dont 321 000 (14 % de la population) dans des zones où le risque inondation est qualifié de « fort à très fort »(259). Selon le retour d'expérience des crues de septembre 2002, l'urbanisation des zones inondables s'était poursuivie dans cette région, bien qu'à un rythme plus lent que précédemment.

Enfin, ne s'intéressant guère au bâti existant, les PPRI ne peuvent pas mettre l'accent sur la mitigation des dommages. Ils ne comportent que rarement des mesures de réduction de la vulnérabilité, même celles dont la rentabilité a été reconnue(260). Il est particulièrement significatif que la reconstruction post-sinistre ne fasse l'objet d'aucune exigence, ni même recommandation, visant à abaisser la vulnérabilité des nouveaux bâtiments (voir ci-dessous le diagnostic relatif au régime d'indemnisation).

(257) Mission d'expertise sur les crues de septembre 2002 (2003).

(258) Circulaire du 30/04/2002 relative à la politique de l'État en matière de risques naturels prévisibles et de gestion des espaces situés derrière les digues de protection contre les inondations et les submersions marines.

(259) Direction régionale de l'équipement de Languedoc-Roussillon, citée par la Mission d'expertise sur les crues de septembre 2002.

(260) Voir CEPRI (2012).

Synthèse et recommandation

En résumé, les PPRN laissent les enjeux matériels et leur vulnérabilité progresser, dans certains cas de façon alarmante. Comme la collectivité prend largement à sa charge les dommages matériels, notamment à travers le régime d'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles, les PPRN contribuent à collectiviser des coûts associés aux choix de simples particuliers et donc à organiser des transferts en leur direction.

Le gouvernement s'est fixé en 2010 des objectifs ambitieux de couverture de l'ensemble des communes exposées par un PPRI, et il est en outre soumis à la directive européenne, qui lui impose de réaliser des plans de gestion des risques d'inondation (PGRI) à l'échelle des six grands bassins versants français avant la fin de l'année 2015. Il serait souhaitable de préparer, à cette échéance et en coordination avec les PGRI, une deuxième génération de plans, qui auraient vocation à se substituer aux plans existants lors d'une campagne de révisions programmée, et qui mettraient en œuvre, outre les nouvelles modalités d'évaluation du risque évoquées plus haut, des mesures ambitieuses de réduction de la vulnérabilité dans les territoires exposés. Cette démarche pourrait, par la suite, être étendue aux autres risques naturels majeurs.

**Recommandation 7**

- Préparer une nouvelle génération de PPRI à l'horizon 2015.
- Élaborer une politique ambitieuse de réduction de la vulnérabilité et, particulièrement, de contrôle raisonné de l'urbanisation.
- Inscrire dans la réglementation les prescriptions relatives au bâti, aux constructions nouvelles et aux reconstructions post-sinistre en zone inondable.
- Introduire les nouveaux PPRI à l'occasion d'une campagne de révision programmée au niveau national en fonction de l'exposition des territoires au risque entier (et non au seul aléa).
- Rapprocher dans l'esprit les nouveaux PPRI et les PGRI.

4.3.1.2. Diagnostic et recommandation relatifs à l'organisation de la prévention

Certaines parties prenantes aux risques naturels, et en premier lieu les populations exposées elles-mêmes, ne prennent pas toutes leurs responsabilités dans la gestion des risques majeurs. Cette affirmation fait aujourd'hui consensus. Dans les communes de la Faute-sur-Mer et l'Aiguillon-sur-Mer,

un PPR avait été prescrit en novembre 2001, mais en février 2010, moment de la tempête Xynthia, ses dispositions n'avaient pas encore été approuvées. Outre les délais extrêmement longs introduits par les recours, l'inertie des élus joue un rôle qui semble d'autant moins douteux qu'elle a trouvé à s'appliquer, dans les années récentes, à d'autres instruments administratifs que les PPRN (plans particuliers de mise en sûreté, plans communaux de sauvegarde, dossiers d'information communale).

Synthèse et recommandation

La mise en œuvre de la prévention prend souvent des allures d'un jeu non coopératif entre les représentants de l'administration centrale, les élus locaux et les habitants. Il paraît alors nécessaire et justifié de lutter contre les effets désincitatifs que peut engendrer l'existence d'une assurance aussi étendue que celle des catastrophes naturelles. Nous faisons des propositions en ce sens dans la suite. À ce stade, nous soulignerons seulement qu'*il n'est pas actuellement possible de vérifier la mise en place des mesures prescrites par les PPRN*, ce qui serait bien évidemment souhaitable. Le contrôle devrait porter sur les ouvrages de protection existants et sur les mesures de réduction de la vulnérabilité introduites par les nouveaux PPRN (en se limitant aux aménagements d'ensemble et aux bâtiments importants pour des raisons évidentes de capacité). Il répondrait enfin à des objectifs prioritaires fixés chaque année par le ministre.

**Recommandation 8**

- Créer une inspection des risques naturels majeurs placée auprès de la DREAL et rattachée, au niveau central, à la DGPR.
- Définir ses priorités chaque année, comme il en va pour l'inspection des ICPE.
- Inclure dans ses missions ordinaires la charge de vérifier que les PPRN se conforment à l'évaluation préalable du risque et que les mesures préventives qu'ils stipulent ont une suite effective.

### *4.3.2. Risques technologiques*

La prévention des risques technologiques repose en grande partie sur l'inspection des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), qui est placée, au niveau central, sous la Direction générale de prévention des risques (DGPR)[261]. L'inspection contrôle la mise en œuvre des dispositions réglementaires relatives à la sûreté dans l'ensemble des ICPE. La catastrophe de Toulouse en 2001 avait mis en lumière l'insuffisance de

(261) Le système français d'inspection des ICPE suscite l'intérêt à l'étranger, voir De Marcellis-Varin et *al*. (2003).

ses moyens et certaines lacunes dans la définition de ses missions. Ses effectifs ont été accrus de près de 40 % en une décennie, et elle a fait l'objet d'un programme de modernisation qui a défini, en particulier, des règles précises de visites : au moins une visite par an pour les 2 000 établissements autorisés présentant les plus grands risques ; au moins une tous les trois ans dans les 8 000 établissements autorisés présentant les enjeux les plus importants ; au moins une tous les dix ans dans les 23 000 autres établissements autorisés ; au moins 10 % des établissements soumis à autorisation contrôlés chaque année. Dans les années suivantes, toutefois, l'inspection a vu se multiplier ses missions alors que ses effectifs stagnaient. Elle a été l'un des principaux acteurs de l'élaboration des PPRT qui, après des débuts difficiles, s'est fortement accélérée ces trois dernières années. Elle est également impliquée dans l'instruction des demandes d'autorisation ou d'enregistrement, l'évaluation des sites pollués, et la transposition de la directive Seveso III. En conséquence, le service se trouve à nouveau dans une situation de sous-effectifs qui pourrait à terme affecter l'accomplissement de ses missions.

#### 4.3.2.1. Synthèse et recommandation

Un nouvel effort de renforcement de l'inspection des ICPE semble s'imposer au vu de l'étendue de ses missions actuelles et du besoin qui se fait jour, à mesure que les PPRT sont approuvés, d'en vérifier la mise en application effective.

**Recommandation 9**

- Renforcer l'Inspection des installations classées pour qu'elle assure un contrôle efficace des risques technologiques et tire parti des avancées introduites par les PPRT.
- Accroître significativement ses effectifs.

## 4.4. Préconisations relatives à l'indemnisation des risques majeurs

Nous cherchons ici à perfectionner les mécanismes de partage des risques, de manière qu'ils internalisent mieux les externalités sans contrevenir aux objectifs de solidarité. Nos préocupations rejoignent directement celles de la littérature théorique, qui se sont exprimées principalement à propos de l'assurance des risques naturels[262]. Dans le cas de ces risques, les externalités sont dues aux agents exposés – ménages, entreprises ou

(262) Voir en particulier Latruffe et Picard (2005) et Picard (2008).

collectivités territoriales – et elles portent sur l'ensemble de la société. Dans le cas des risques technologiques et nucléaires, elles sont dues aux industriels à la source du risque et elles portent à nouveau sur l'ensemble de la société. Pour répondre au problème, nous nous servirons de deux outils surtout, *la définition de la couverture des dommages* et *la tarification des assurances*. Redéfinir la couverture permet également d'aller vers une gestion plus homogène et mieux provisionnée des risques majeurs. Nos recommandations sont déclinées en détail dans le cas des risques naturels, technologiques et nucléaires.

### *4.4.1. Risques naturels*

Le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles, qui couvre la majorité des dommages causés par les aléas naturels, a fait l'objet de plusieurs tentatives de réformes. Suite à la sécheresse de 2003 qui a failli entraîner l'appel à la garantie de l'État par le régime pour un montant compris entre 500 millions et 1 milliard d'euros[263], un premier projet de réforme avait été lancé puis abandonné avant l'élection présidentielle de 2007. Fin 2007, la réforme a été relancée, puis arrêtée par la crise économique. En avril 2010, tirant les leçons de la tempête de Xynthia, le Président de la République a demandé aux différents ministres concernés de préparer une réforme qui respecte le principe de solidarité nationale, vise à renforcer la prévention et, simultanément, favorise les comportements responsables. Le projet de réforme du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles adopté par le Sénat en avril 2012 répond à de nombreuses lacunes du système, soulignées dans la section 3[264]. Mais certains points du texte appellent des réserves et celles-ci s'ajoutent à une objection d'ensemble, suivant laquelle trop d'aspects de la réforme sont renvoyés à des décisions réglementaires ultérieures

Nous discuterons le projet de loi dans ses différents partis pris, en proposant chaque fois de le modifier de manière à renforcer encore l'efficacité du régime d'assurance. Nous terminerons en nous consacrant aux aides distribuées indépendamment de ce régime.

#### 4.4.1.1. Diagnostic et recommandation relatifs à la couverture des dommages

##### 4.4.1.1.1. Définition d'une catastrophe naturelle

L'état de catastrophe naturelle, constaté par un arrêté interministériel, repose sur l'avis d'une commission interministérielle qui analyse le phénomène sur la base de rapports scientifiques (section 3). Le projet de loi veut modifier la définition d'une catastrophe naturelle avec l'objectif, fort louable, d'améliorer le fonctionnement et la transparence de la procédure de constatation. Les modalités pratiques liées à ce changement appa-

(263) Voir le rapport de Dumas et *al*. (2005).

(264) Projet de loi portant réforme du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles (projet de loi n° 491 enregistré à la présidence du Sénat le 3 avril 2012).

raissent considérables : il ne s'agit de rien de moins que de définir *la liste de phénomènes éligibles au régime d'indemnisation, la nature des experts scientifiques impliqués* et *la méthodologie appliquée pour évaluer l'intensité des agents naturels*. Le renvoi de ces éléments à un décret en Conseil d'État n'est pas satisfaisant, car il masque les difficultés techniques, et il est en outre de nature à faciliter les va-et-vient ultérieurs du champ d'application, alors que celui-ci évolue aujourd'hui graduellement sous l'effet progressif d'une jurisprudence (celle de la commission interministérielle).

Les phénomènes naturels ne se prêtent pas nécessairement à des critères qui soient à la fois lisibles et scientifiquement acceptables. Il est toujours difficile d'établir incontestablement le caractère anormal de l'intensité d'un agent naturel. Avant de fixer un niveau quantitatif de seuil, il faut identifier les paramètres dont la variation est pertinente. En outre, il se peut que la catastrophe implique une combinaison d'agents naturels dont tous ne sont pas en eux-mêmes d'une intensité excessive. Il faudrait alors définir les critères d'anormalité globalement, au vu d'un arbre causal aux multiples ramifications, ce qui les rendrait discutables auprès des spécialistes et de plus opaques aux utilisateurs.

L'état de catastrophe naturelle pourrait se voir objectiver autrement que par l'aléa. On fixerait des critères relatifs à l'ampleur du *dommage*, et pour cela, on commencerait par modifier ainsi la définition de l'article L.125-1 du Code des assurances : « dommages matériels directs non assurables ayant eu pour cause déterminante l'intensité anormale d'un agent naturel *et qui présentent en eux-mêmes une gravité particulière* ». Le projet de loi envisage bien une restriction d'après l'ampleur du dommage, mais dans le seul cas des retraits et gonflements des argiles. La définition des seuils de dommages indemnisés dans le cadre du régime mériterait une analyse approfondie qui tienne compte, d'une part, de l'équilibre du régime et, d'autre part, de la possibilité d'assurer ou non la partie des dommages non couverts par le régime.

Dans tous les cas, le maintien de la commission interministérielle nous semble crucial. Le Conseil d'État estime que son avis est insusceptible de recours, car il s'agit d'un acte préparatoire de la décision relevant des ministres concernés[265]. L'absence de recours disparaissant avec la commission, on pourrait certainement craindre une multiplication des contentieux de la part des assurés mécontents de ne pas être indemnisés, et cela d'autant plus qu'ils attachent souvent une valeur émotive à la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle, en sus même des intérêts qu'ils défendent.

(265) Conseil d'État, 29/04/2002, Commune de Rixheim, n° 225227.

#### 4.4.1.1.2. Conditions du bénéfice de la garantie

Pour certains biens construits sur des terrains classés inconstructibles par un plan de prévention des risques naturels (PPRN) approuvé ou appliqué par anticipation, le projet de loi prévoit la déchéance du bénéfice de la garantie catastrophes naturelles. Les biens concernés sont ceux construits après la publication du plan et sans autorisation de construire. Si cette proposition du projet de loi est entièrement souhaitable et facilement applicable en métropole, son application pratique à l'outre-mer demande une analyse préalable. En effet, outre-mer, les occupants peuvent être propriétaires des murs de leur logement sans être propriétaires du sol sur lequel il est construit.

#### 4.4.1.1.3. Conditions de la réparation des dommages

Le projet de loi prévoit de lever l'obligation, traditionnelle en assurance, de reconstruire sur place les immeubles détruits, et c'est là une avancée. Aujourd'hui, le bien doit être situé dans une zone soumise à un PPRN pour échapper à l'obligation(266). Cette condition nécessaire est trop restrictive, et en la supprimant, le projet facilite les migrations vers des zones moins exposées. La réparation des dommages couverts par les contrats multirisques devrait en outre, selon nous, s'accompagner d'une réduction de la vulnérabilité du bien et de la mise en conformité avec les mesures de prévention demandées par les PPRN.

#### 4.4.1.1.4. Synthèse et recommandation

La définition des catastrophes naturelles, telle que l'envisage le projet de loi, soulève de nombreuses difficultés qui finissent par contredire l'objectif affiché de rendre plus solide et transparente la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle. Nous préconisons donc de renoncer à établir des critères explicites relatifs aux phénomènes naturels. Cependant, des critères relatifs à l'ampleur du dommage même, que le projet de loi n'envisage que pour les retraits et gonflements des argiles, pourraient, après une analyse approfondie, s'appliquer en général. Une telle perspective n'implique pas que la commission interministérielle disparaisse ou même voit son rôle diminuer.

(266) Articles L.121-16 et 17 du Code des assurances ; le projet de loi les abroge.

**Recommandation 10**

- Redéfinir la couverture des dommages dus à des catastrophes naturelles.
- À l'encontre du projet de loi, renoncer à établir des critères explicites quant aux phénomènes naturels et chercher à utiliser des critères relatifs à l'ampleur du dommage lui-même.
- Restreindre le bénéfice de la garantie pour certains biens en zones inconstructibles, comme le prévoit le projet, mais en tenant compte des particularités de l'outre-mer.
- Lever l'obligation de reconstruction sur place, exactement comme le prévoit le projet, et imposer en outre, lors de la réparation des dommages, une mise en conformité avec les mesures demandées par les PPR, voire d'autres mesures préventives.

#### 4.4.1.2. Diagnostic et recommandation relatifs à la tarification de la couverture

##### 4.4.1.2.1. Modulation de la prime catastrophes naturelles

Tout contrat d'assurance de dommages aux biens comporte obligatoirement la garantie catastrophes naturelles. La prime associée à cette garantie se calcule à partir d'un taux défini pour chaque catégorie de contrat, indépendamment de l'exposition au risque (section 3). Le projet de loi rend possible une modulation encadrée des primes versées par les assurés, en la réservant aux collectivités territoriales et aux entreprises à partir d'une certaine taille, au motif que ces acteurs « disposent des outils en matière de renforcement de la prévention », ce qui, d'après les rédacteurs, ne serait pas le cas des particuliers. Nous jugeons les modulations d'autant plus souhaitables que les assureurs ne font guère usage du Bureau central de tarification, comme il leur est pourtant loisible (section 3). Nous souhaitons les étendre beaucoup plus largement que ne le veut le projet. Ce qui suit distingue les deux aspects d'assiette et de taux qui interviennent dans les propositions.

*Assiette.* La loi actuelle aussi bien que le projet de loi ouvrent deux possibilités pour l'assiette dans le calcul de la prime catastrophes naturelles : les primes des contrats de base ou les capitaux assurés. Les assureurs préfèrent utiliser comme assiette les primes (section 3), vraisemblablement pour éviter un fastidieux travail d'estimation des capitaux assurés, et ils peuvent se contenter d'une information imparfaite parce qu'ils ne supportent qu'une partie du coût du risque. Les autres parties qui le supportent, la Caisse centrale de réassurance (CCR) et les pouvoirs publics, auraient en revanche besoin de connaître les valeurs économiques précisément, afin de gérer au mieux les indemnisations pour l'une et de proportionner au mieux les mesures de prévention pour les autres. Nous considérons donc souhai-

table que les assureurs obtiennent l'information sur les capitaux assurés et la partagent avec la CCR et l'État. Le projet de loi va en partie dans ce sens, puisque – sauf pour les particuliers – il rend la modulation du taux obligatoire au-delà d'un seuil de capitaux assurés fixé par décret en Conseil d'État ; ainsi, les entreprises et collectivités territoriales proches de ce seuil devraient déjà renseigner les valeurs désirées.

Une sous-estimation peut survenir avec l'accord implicite de l'assureur du fait des contrats de réassurance offerts par la CCR. En effet, la somme des primes catastrophes naturelles collectées par l'assureur définit sa franchise auprès de la CCR, et il n'a donc pas intérêt à augmenter ce montant s'il ne veut pas augmenter son risque (section 3, encadré 5). Sans modifier la structure de ses contrats de réassurance, la CCR pourrait fixer leur tarification de manière à éviter l'effet que nous décrivons.

*Taux.* Le projet de loi prévoit d'exclure de la modulation tous les particuliers et ceux des autres agents qui se trouvent en dessous d'un certain seuil de capitaux assurés. Or il n'y aurait plus lieu de traiter différemment les agents si leurs capitaux devenaient l'assiette universelle. De plus et surtout, avec cette nouvelle assiette, une variation de taux pourrait, tout en restant raisonnable, inciter un particulier à plus de prévention, alors qu'avec l'assiette actuelle des primes, l'effet produit est négligeable(267). Nous jugeons étonnante l'objection des rédacteurs, d'après laquelle les particuliers et les entreprises en dessous d'une certaine taille n'auraient pas de mesures préventives à leur disposition.

Le projet de loi prévoit que les assureurs modulent le taux entre les limites minimale et maximale définies par un décret en Conseil d'État. À nouveau, du fait du contrat de réassurance, une modulation à la baisse diminuerait l'exposition de l'assureur au détriment de la CCR. C'est pourquoi, si la liberté de fixer le taux est laissée aux assureurs, et si l'assiette des primes devait être maintenue, la limite minimale ne devrait pas tomber au-dessous de 12 %.

Une fourchette du taux, qu'elle porte sur la prime ou sur le capital assuré, devrait tenir compte du zonage des risques et des mesures de prévention(268). On peut par exemple faire varier les taux minimaux en fonction de l'aléa des zones géographiques, tout en gardant fixe la différence avec le maximum. Il est possible de prendre en compte le degré d'exposition chaque fois que le zonage a valeur réglementaire, en l'occurrence donc, pour les inondations, les retraits et gonflements des argiles et les séismes. En effet, la directive inondations prévoit la réalisation d'une carte à valeur réglementaire à partir

(267) La prime multirisques habitation annuelle représente en moyenne 200 euros (hors taxes) par logement. La prime catastrophes naturelles est donc en moyenne de 20 euros par an et par logement (elle était de 17 euros en moyenne sur la période 1995-2005 ; voir Grislain-Letrémy et Peinturier, 2010a). Une modulation des primes d'assurance des particuliers entre 8 et 16 % (par exemple) correspondrait à un signal prix faible (primes variant entre 13 et 27 euros).

(268) Nous laisserions inchangé le taux unique pour les contrats d'assurance automobile, puisqu'il semble peu pertinent de faire varier ce taux en fonction du lieu d'immatriculation du véhicule.

de fin 2013 (section 3) ; le zonage sismique actuel a valeur réglementaire (section 2) ; enfin, le projet de loi confère à la carte actuelle de l'aléa de retraits gonflements des argiles (section 2) valeur légale. Les mesures de prévention réalisées par les assurés et les collectivités territoriales, dans le cadre d'un plan de prévention des risques (ou éventuellement de leur propre initiative), devraient également être prises en compte par l'assureur lorsqu'il fixe le taux à l'intérieur de la fourchette(269).

4.4.1.2.2. Modulation de la franchise

Le projet de loi ne mentionne pas la modulation de franchise existante, ce qui laisse supposer qu'elle serait inchangée. Depuis septembre 2000, les franchises sont en effet rehaussées lorsque les sinistres ont lieu dans des communes non dotées d'un plan *prescrit*, alors qu'elles avaient déjà fait l'objet de plusieurs arrêtés catastrophes naturelles (section 3). Cette modulation particulière est un message destiné aux maires, en les incitant à faciliter une préparation concertée des PPRN. Nous y sommes favorables, mais en l'adaptant au vu de l'évolution effective des plans. C'est pourquoi nous proposons d'appliquer la modulation de franchise existante si le plan n'a pas été encore *approuvé* ou bien si les mesures qu'il requiert de la part des communes et des assurés n'ont pas été prises dans le délai autorisé (normalement de cinq ans aujourd'hui).

Comme aujourd'hui ces mesures ne sont pas vérifiées, nous envisageons que, après toute demande d'indemnisation des collectivités territoriales et des grandes entreprises, la nouvelle inspection des risques naturels puisse effectuer les contrôles nécessaires. Pour les autres entreprises et les particuliers, cette vérification dépendra de l'expert d'assurance qui se déplace pour constater les dommages(270).

4.4.1.2.3. Synthèse et recommandation

Nous recommandons donc de moduler la prime catastrophes naturelles pour les contrats multirisques habitation, entreprises et collectivités territoriales, en fonction de leur exposition au risque et des mesures de prévention effectuées. Nous voudrions en même temps que les capitaux assurés deviennent l'assiette des primes catastrophes naturelles. Nous sommes favorables au maintien du dispositif actuel de modulation des franchises, mais en le rendant plus incitatif à l'approbation effective des PPRN et à l'exécution des mesures qu'ils stipulent.

(269) Au moment de la souscription ou du renouvellement annuel du contrat, une déclaration sur l'honneur pourrait être demandée par l'assureur à l'assuré. L'efficacité des mesures de prévention pourrait également être réévaluée au vu des sinistres (voir, modulation de la franchise).

(270) La loi imposant un délai d'indemnisation très bref, un expert ne se déplace que pour des dommages dépassant un seuil, dit de délégation d'expertise. Pour des dommages inférieurs à ce seuil, l'assuré envoie simplement ses factures après réparation. Quand ce cas très fréquent se produit, nous proposerions à nouveau de lui demander une déclaration sur l'honneur.

**Recommandation 11**

- Renforcer les aspects incitatifs de la tarification.
- Moduler la prime catastrophes naturelles pour les contrats multirisques habitation, entreprises et collectivités territoriales en fonction de leur exposition au risque et des mesures de prévention effectuées.
- Moduler la franchise en fonction, désormais, de l'approbation des PPR et de l'application des mesures de prévention prévues par ces plans.

#### 4.4.1.3. Diagnostic et recommandation relatifs aux retraits et gonflements des argiles

##### 4.4.1.3.1. Conditions du bénéfice de la garantie

Le projet de loi restreint le bénéfice de la garantie catastrophes naturelles aux dommages directs subis par la construction, et à la condition que ces dommages compromettent la solidité de la construction ou l'affectent dans un de ses éléments constitutifs ou d'équipement, dans tous les cas en la rendant impropre à sa destination. Par ailleurs, le projet interdit que la garantie s'applique aux dommages relevant de la responsabilité décennale du constructeur. Nous appuyons ces exclusions tout en assumant le fait qu'elles seront coûteuses pour les intéressés.

En effet, de nombreux dommages cesseront d'être indemnisés. Il s'agit de dommages esthétiques et non fondamentaux, qui ne tombent ni sous la garantie du constructeur, ni, dans la plupart des cas, sous les garanties contractuelles des assurances multirisques habitation (section 3, tableau 5). Pour les dommages plus substantiels, nous avons déjà souligné que la responsabilité décennale du constructeur n'était pas facile à mettre en œuvre. (section 3). Outre le fait qu'elle est peu souscrite malgré son caractère obligatoire, l'assurance dommage ouvrage du constructeur ne se retourne contre lui qu'à partir d'un certain seuil de dommage, celui-ci étant défini par une convention interne au secteur de l'assurance. Les coûts de la réforme ne sont donc pas négligeables pour les assurés, et il ne faudrait pas que, dans un geste politiquement inspiré, les autorités les compensent par des transferts discrétionnaires. C'est ainsi qu'ils avaient soldé les dossiers relatifs à la sécheresse de 2003 après que le régime d'assurance des catastrophes naturelles les eut rejetés[271]. Plus loin, nous nous élevons fortement contre les aides de ce type (recommandation 13).

(271) Sur cette procédure exceptionnelle, voir le rapport de Frécon et Keller (2009).

4.4.1.3.2. Étude de sol

Le projet de loi instaure des règles préventives de base lorsque la construction se fait sur un terrain exposé. En effet, le projet donne valeur légale au zonage sécheresse, tel que l'illustrait la carte 2 (*cf.* cahier central, p. II). Au sein des zones exposées, et dans le cas de la vente d'un terrain non bâti destiné à la construction d'une maison individuelle, il recommande une étude de sol préalable, dont le but est d'attester la présence ou non d'argile sur le terrain. La construction ne sera dispensée des règles préventives de base que si l'étude a eu lieu et si elle a produit une réponse négative. À nouveau, certaines modalités importantes sont renvoyées à un décret en Conseil d'État, notamment la profondeur demandée pour l'étude, alors que celle-ci voit son coût varier fortement avec celle-là. Le texte restreint l'étude aux zones exposées, ce qui paraît économiquement justifié, mais il n'envisage qu'une profondeur identique au sein de ces zones, alors qu'elle devrait varier plus finement avec l'intensité du risque. Indépendamment de son rôle pour améliorer la construction, l'étude pourrait en effet opérer comme une taxe décourageant les constructions neuves dans les zones où l'aléa est le plus grand, et il est dommage que le projet n'exploite pas cette possibilité stratégique.

4.4.1.3.3. Synthèse et recommandation

Le traitement de l'aléa sécheresse constitue assurément un des points forts du projet. Nous ne le précisons qu'à la marge.

**Recommandation 12**

- Revoir l'indemnisation des retraits et gonflements des argiles.
- Comme le prévoit le projet de loi, exclure de l'indemnisation des retraits et gonflements des argiles, au titre des catastrophes naturelles les dommages esthétiques, ainsi que les dommages relevant de la responsabilité décennale du constructeur.
- Comme le prévoit encore le projet, donner une valeur légale au zonage retraits et gonflements des argiles et recommander une étude de sol dans les zones exposées suivant les modalités prescrites, avec cependant l'adjonction suivante – que l'étude porte d'autant plus profondément que le zonage indique un risque plus grand.

4.4.1.4. Diagnostic et recommandation relatifs aux autres dispositifs d'indemnisation

4.4.1.4.1. Aides coexistant avec le régime d'assurance

Outre-mer mais aussi en métropole, de nombreuses aides coexistent avec le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles. Le rapport de la Cour

des comptes sur la tempête Xynthia et les inondations dans le Var fait état d'aides multiples, qui sont coûteuses, fondées sur des critères d'attribution mal définis, apparemment peu coordonnées et peu justifiables en présence d'un système d'assurance développé.

*Nous préconisons une limitation extrêmement stricte des aides publiques*. Il nous semble essentiel que l'indemnisation passe par le régime d'assurance, et ce pour trois raisons. Tout d'abord, le fait que l'indemnisation dans le cadre du régime catastrophes naturelles soit établie par un intermédiaire, l'assureur, garantit une meilleure objectivité ; si elle est fixée *ex post* par l'État et les collectivités territoriales, le risque de dérive est évident. Par ailleurs, dans la mesure où les modalités de l'aide sont connues après coup, elle ne peut pas rationnellement inciter à la prévention. Cette conclusion s'aggrave si les intéressés anticipent – correctement ou non – qu'elle leur sera versée sans condition. Enfin, le régime d'assurance permet une connaissance centralisée des indemnisations accordées, via la CCR, ce qui présente un intérêt en soi et qui, de plus, sert à limiter les comportements illicites de sinistrés qui recherchent les compensations multiples. En 1982, le régime d'assurance des catastrophes naturelles avait été créé en grande partie pour éviter ces différents écueils, et il est fâcheux que les autorités dévient du principe qu'elles ont elles-mêmes tenu à instaurer.

#### 4.4.1.4.2. Outre-mer

L'outre-mer est caractérisé par une faible couverture assurantielle des biens privés et aucune disposition n'est envisagée par le projet de loi pour améliorer cette couverture. Les aides *ex post* versées par les pouvoirs publics aux ménages non assurés mesurent le coût social de ce phénomène (section 3). Des incitations d'ordre économique ou réglementaire devraient permettre d'augmenter la souscription et ensuite de diminuer ces coûteux transferts directs. Les locataires sont normalement tenus de souscrire une assurance multirisques habitation, de sorte que le public visé serait celui des propriétaires, généralement à faibles revenus, qui n'en ont pas soucrit. Une mesure rigoureuse, mais efficace, conditionnerait à la souscription le versement des aides au logement, voir d'autres allocations. Les aides ou subventions aux entreprises pourraient semblablement devenir conditionnelles.

**Recommandation 13**

- Limiter le plus strictement possible les aides de l'État et, dans la mesure légalement possible, des collectivités territoriales.
- Outre-mer, mettre en place de fortes incitations en faveur de la souscription de l'assurance multirisques habitation et entreprise, puis réduire les aides *ex post* versées par les pouvoirs publics.

### *4.4.2. Risques technologiques*

Comme les risques industriels impliquent la responsabilité d'un tiers, l'implication financière de l'État dans l'indemnisation des sinistres est très limitée, afin de responsabiliser l'industriel et d'éviter de faire payer l'ensemble des contribuables en cas de dommage. Les deux exceptions sont le risque minier (section 2, encadré 1) et le risque nucléaire (section 3.3) pour lequel l'État peut être amené à indemniser directement. Il peut aussi intervenir dans la couverture des dommages industriels autrement qu'en finançant leur indemnisation.

Jusqu'à présent, l'action publique a essentiellement consisté à organiser la couverture des particuliers victimes des risques industriels via la Sécurité sociale pour ce qui concerne leurs dommages corporels, et via le régime d'indemnisation des catastrophes technologiques (ou des dommages miniers) pour ce qui concerne leurs dommages aux biens. Le but de ces régimes est d'éviter de longues procédures juridiques aux victimes et de couvrir les risques de non-identification et d'insolvabilité du responsable (section 3).

#### 4.4.2.1. Couverture des victimes

Une extension de la couverture aux dommages *subis par les personnes* semble souhaitable puisqu'elle est aujourd'hui partielle et tardive. Cependant, dans le cas du régime d'indemnisation des catastrophes technologiques, la couverture est rattachée au contrat d'assurance habitation et l'extension buterait donc sur la traditionnelle classification professionnelle, qui sépare les assurances de dommages (assurances de biens et de responsabilité) des assurances de personnes. Par ailleurs, nous préconisons une extension plus immédiate aux dommages des entreprises et collectivités territoriales, qui peuvent elles aussi voir leurs biens endommagés et subir des pertes d'exploitation suite à une catastrophe technologique. Leurs contrats multirisques respectifs pourraient donc inclure une garantie catastrophes technologiques comme c'est le cas actuellement pour les contrats multirisques habitation des particuliers. Ceci est particulièrement indiqué pour les petites collectivités territoriales et les petites et moyennes entreprises, qui n'ont pas nécessairement le moyen de recourir contre l'industriel responsable.

#### 4.4.2.2. Responsabilité des industriels

L'extension des garanties des victimes doit s'accompagner d'une amélioration de la solvabilité des responsables. L'action publique en France a jusqu'à présent incité les responsables potentiels à se couvrir, dans l'idée de limiter leur risque d'insolvabilité *pour ce qui est de la remise en état et des mesures de dépollution*, mais non pas des dommages imposés aux tiers. En effet, l'assurance responsabilité civile n'est obligatoire ni pour les professionnels, ni pour les particuliers. Des garanties financières peuvent conditionner l'autorisation de certaines installations, mais elles ne couvrent pas les indemnisations dues aux tiers qui subiraient un préjudice en cas de pollution ou d'accident (section 3).

Nous préconisons d'étendre aux dommages infligés aux tiers les garanties financières que la loi requiert déjà pour certaines ICPE autorisées[272]. L'étude de dangers exigée pour obtenir une autorisation d'exploitation, et examinée par les directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL), fournirait les éléments nécessaires pour estimer l'aléa et les enjeux exposés. Cette recommandation consiste à étendre un système déjà existant. Une autre solution, plus lourde à mettre en œuvre, consisterait à créer une garantie obligatoire au sein du contrat multirisques entreprise, et cela pour toutes les entreprises possédant au moins une ICPE qui est soumise à autorisation et à la constitution de garanties financières. Cette garantie couvrirait les coûts de remise en état (y compris dépollution), de surveillance et les dommages aux tiers (biens et aux personnes). Il faudrait que se développe alors une offre de garanties financières (ou alternativement d'assurance). L'État contribuerait à ce développement, par exemple en permettant certaines ententes entre assureurs, comme il l'a fait pour des risques autres que technologiques[273].

#### 4.4.2.3. Synthèse et recommandation

Jusqu'à présent, l'action publique a limité la couverture des particuliers victimes des risques industriels, et nous jugeons souhaitable et relativement facile de l'étendre en partant des régimes existants. Dans le même esprit, nous voudrions étendre les garanties financières demandées à certaines ICPE autorisées aux dommages aux tiers, ce qui peut se faire aussi à partir des dispositifs existants.

**Recommandation 14**

- Étendre la couverture des victimes et organiser la solvabilité de l'industriel responsable.
- Étendre les régimes d'indemnisation des catastrophes technologiques et des dommages dus aux activités minières, d'une part, s'il est possible, aux dommages aux personnes, et, d'autre part, sans réserve, aux dommages subis par les entreprises et collectivités territoriales.
- Étendre les garanties financières, actuellement demandées à certaines ICPE autorisées, de manière à couvrir aussi les dommages aux tiers.

(272) Il s'agit des carrières, décharges, sites de stockage géologique de dioxyde de carbone, installations de stockage de déchets, éoliennes soumises au régime d'autorisation et autres installations soumises au régime d'autorisation « susceptibles, en raison de la nature et de la quantité des produits et déchets détenus, d'être à l'origine de pollutions importantes des sols ou des eaux » (section 3).

(273) La Commission européenne encadre déjà certaines ententes entre assureurs pour risques dits nouveaux. Elle permet en effet le regroupement de différents assureurs et réassureurs au sein de « *pools* » et autorise ainsi la mise en commun de calculs, tables, études, modèles et couverture de certains risques nouveaux (règlement UE n° 267/2010 de la Commission du 24/03/2010 concernant l'application de l'article 101, paragraphe 3, du traité sur le fonctionnement de l'Union européenne à certaines catégories d'accords, de décisions et de pratiques concertées dans le secteur des assurances).

### *4.4.3. Risques nucléaires*

Comme nous l'avons exposé à la section 3, l'indemnisation des dommages causés par un accident nucléaire est gouvernée par les conventions internationales de Paris et de Bruxelles, qui définissent un régime de responsabilité objective canalisé vers l'exploitant, mais plafonné et ainsi complété par une « tranche » de dépenses de réparation à la charge de chaque État et par une autre faisant l'objet d'une mutualisation entre États signataires. La principale critique adressée à ce système porte sur le niveau du plafond de responsabilité, qui est très inférieur aux conséquences prévisibles d'un accident majeur. Le protocole du 12 février 2004 amendant les deux conventions cherche à corriger cette insuffisance, mais son entrée en vigueur est soumise à une condition de ratification qui ne semble pas en voie d'être satisfaite.

Le plafonnement de la responsabilité de l'exploitant a trois types d'effets : premièrement, il transfère une partie du coût d'un éventuel accident des comptes de l'exploitant vers le budget de l'État (notamment au-delà de la troisième tranche de la convention de Bruxelles) ; deuxièmement, il réduit les coûts de production de l'exploitant à hauteur des frais d'assurance (ou, dans le langage de la théorie économique, du montant annualisé de l'équivalent certain des coûts transférés) ; troisièmement, il permet d'organiser une assurance du risque, que l'on peut rendre obligatoire jusqu'au plafond de responsabilité.

Les économistes et les juristes qui se sont penchés sur la question estiment généralement que le premier de ces effets a une influence négative sur l'effort de prévention de l'exploitant(274). Cet argument de bon sens est cependant amoindri par l'absence de prise en compte de certaines pertes qu'un exploitant de centrale nucléaire encourt indépendamment du régime d'indemnisation auquel il est soumis : la perte irrémédiable du réacteur, les frais liés aux modifications de sûreté à introduire dans ses autres centrales suite à l'accident, l'impact négatif de l'accident sur son activité et sur le développement de l'industrie nucléaire en général(275). Les ordres de grandeur en jeu dans ces trois postes sont largement supérieurs aux dommages assurés. À titre d'exemple, les modifications de sûreté décidées en France après un accident ayant eu lieu au Japon devraient coûter à Électricité de France (EDF) près de 10 milliards d'euros. L'entreprise TEPCO, exploitante de la centrale de Fukushima, a pour sa part été nationalisée et la poursuite de ses activités nucléaires est fortement en question. Dans un cas d'accident grave, l'exploitant d'une centrale fait donc face à un scénario de ruine, même avec un plafonnement de la responsabilité civile, sans parler des conséquences individuelles pour ses salariés et dirigeants. De ce fait, il semble hasardeux que l'on puisse significativement renforcer les incitations à la prévention en supprimant (ou, *a fortiori*, en augmentant) le plafond de responsabilité.

(274) Voir Faure (1995) et Trebilcock et Winter (1997).

(275) Voir, en outre, l'argument modérateur de Schmitt et Spaeter (2007).

Le deuxième type d'effet du plafonnement s'offre à une critique plus convaincante, puisqu'il en résulte une subvention de l'énergie nucléaire en particulier et de l'électricité en général par rapport aux autres sources d'énergie (ainsi qu'aux solutions d'efficacité énergétiques) qui ne répond à aucune justification *a priori*. Le troisième effet, enfin, représente un avantage dès lors que l'on admet, comme l'expérience de l'assurance du risque nucléaire aux États-Unis semble y inviter(276), que le secteur de l'assurance ne pourrait pas prendre en charge une responsabilité illimitée. Le choix du plafonnement et le montant du plafond découlent donc d'un arbitrage entre ces deux derniers effets. Ce sont précisément les modalités de cet arbitrage que les États signataires du protocole de 2004 semblent avoir voulu modifier en portant le plafond de responsabilité de l'exploitant de 90 à 700 millions d'euros et en ouvrant la possibilité pour les États d'accroître ce plafond *a posteriori*, voire même d'imposer à l'exploitant une responsabilité illimitée. Avec cette modification, les accidents les plus vraisemblables sont couverts et il faudrait un accident grave pour que le plafond s'avère nettement insuffisant et que le financement des indemnités devienne dépendant des décisions gouvernementales.

#### 4.4.3.1. Synthèse et recommandation

La ratification du protocole du 12 février 2004 a été autorisée par le Parlement français avec l'adoption de la loi du 5 juillet 2006, et ses dispositions ont été transposées par l'article 55 de la loi TSN, qui devient effective dès l'entrée en vigueur du protocole. Face à la lenteur du processus de ratification par les États signataires, le gouvernement a rendu public, le 21 mars 2012, un projet de loi qui rendait immédiate l'augmentation du plafond de responsabilité. Ce projet n'a toutefois pas été présenté au Parlement. Une autre option possible(277) consisterait à créer un fonds de provisionnement des coûts implicites de l'énergie nucléaire, abondé par les exploitants et destiné à couvrir à la fois les dépenses de démantèlement et celles résultant d'éventuels accidents.

Bien qu'elles soient l'une et l'autre souhaitables selon le principe d'internalisation des externalités, ces mesures ne conduiraient pas à un bouleversement de la structure de coûts de l'industrie nucléaire. En cas d'augmentation du plafond de responsabilité, à titre d'exemple, même dans

(276) Aux États-Unis, l'industrie de l'assurance propose une couverture de la responsabilité civile nucléaire à hauteur d'un plafond très inférieur aux dommages engendrés par un accident grave, bien que supérieur à celui de la convention de Paris (dont le pays n'est pas signataire). Soucieux d'améliorer la couverture du risque, le Congrès des États-Unis adopta en 1957 le *Price-Anderson Act* qui garantissait aux opérateurs de centrales nucléaires une prise en charge intégrale par l'État des dommages au-delà de ce plafond, à hauteur de 500 millions de dollars. La loi fut adoptée initialement pour une durée de dix ans, qui devait suffire, aux yeux du législateur, à montrer la sûreté de fonctionnement des centrales et rendre le risque nucléaire totalement assurable. Las, ce schéma assurantiel a été depuis reconduit six fois, et il s'étend désormais jusqu'en 2025.

(277) Les deux options peuvent aussi être cumulées, les provisions du fonds couvrant le risque au-delà du plafond de responsabilité.

l'hypothèse haute d'une hausse proportionnelle de sa prime d'assurance[278], Électricité de France supporterait des frais supplémentaires de l'ordre de 40 millions d'euros, soit 0,5 % de ses coûts d'exploitation[279].

### Recommandation 15

- Internaliser les coûts associés au risque nucléaire par le biais de l'une des deux options suivantes :
  - soit augmenter le plafond de responsabilité des exploitants sans attendre l'entrée en vigueur du protocole du 12 février 2004, en reprenant le projet de loi du 21 mars 2012 ;
  - soit créer un fonds de provisionnement des coûts implicites de l'énergie nucléaire, destiné en particulier à couvrir les dépenses résultant d'éventuels accidents.

(278) Cette hypothèse, que la Cour des comptes (2012a) adopte dans son rapport est maximisante puisqu'elle suppose que la probabilité moyenne des accidents couverts par le plafond ne change pas lorsque ce dernier s'accroît, alors qu'elle devrait baisser. Faure et Fiore (2008) montrent par ailleurs que la prime d'assurance aujourd'hui acquittée par Électricité de France est excessive par rapport à la responsabilité couverte.

(279) Calcul des auteurs à partir du compte d'exploitation simplifié présenté par Cour des comptes (2012a).

# Références bibliographiques


Abdellaoui M. et B. Munier (2001) : « Substitutions probabilistiques et décision individuelle devant le risque. Enseignements de l'expérimentation », *Revue d'Économie Politique*, vol. 111, pp. 29-39.

Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA) (2009) : *Stockage réversible profond. Options de sûreté du stockage en formation géologique profonde*, Rapport ANDRA, n° C.NT. ASSN.09.0029.B.

Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA) (2010) : *Rendre gouvernables les déchets radioactifs. Le stockage profond à l'épreuve de la réversibilité*, ANDRA Éditions.

Anziani A. (Sénateur) (2010) : *Rapport d'information fait au nom de la Mission commune d'information sur les conséquences de la tempête Xynthia*, Rapport d'information, n° 554, Session 2009-2010, 10 juin.

Asahi S. (2011) : « *Radioactive Cesium Blankets 8% of Japan's Land Area* », The Asahi Shimbun, Asia and Japan Watch, 21 novembre. Disponible sur http://ajw.asahi.com/article/0311disaster/fukushima/AJ201111210014

Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2012) : *Liste des installations nucléaires de base au 31 décembre 2011*, Décision ASN n° 2012-DC-0254, 5 janvier.

Barredo J.I. (2009) : « Normalised Flood Losses in Europe: 1970-2006 », *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 9, pp. 97-104.

Basdevant J-L. (2011) : *Maîtriser le nucléaire*, Eyrolles.

Bentoglio G. et J-P. Betbèze (2005) : *L'État et l'assurance des risques nouveaux*, Rapport du Commissariat général du Plan, La Documentation française.

Bidan P. (2001) : « Le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles a-t-il un avenir ? », *Revue Générale du Droit des Assurances*, pp. 243-252.

Billet P. (1999) : « La responsabilité des propriétaires de sites contaminés ou le triomphe des apparences », *Géocarrefour-Revue de Géographie de Lyon*, vol. 74, pp. 225-231.

Billet P. (2000) : « La zone inondable : essai de typologie de la délimitation des zones soumises au risque 'inondation' », *Géocarrefour-Revue de Géographie de Lyon*, vol. 75, pp. 245-254.

Bourdin J. (Sénateur) (2010) : *Projet de Loi de Finances pour 2011, Mission « Agriculture, Pêche, Alimentation, Forêts et Affaires rurales » et Compte d'affectation spéciale « Développement agricole et rural »*, Rapport général n° 111 (2010-2011), Commission des Finances du Sénat, 18 novembre.

Bromet E.J. et M.A. Dew (1995) : « Review of Psychiatric Epidemiologic Research on Disasters », *Epidemiologic Reviews*, vol. 17, pp. 113-119.

Brunette M., L. Cabantous, S. Couture et A. Stenger (2009) : « Assurance, intervention publique et ambiguïté : une étude expérimentale auprès de propriétaires forestiers privés », *Économie et Prévision*, n° 190-191, pp. 123-134.

Burby R.J. (2001) : « Flood Insurance and Floodplain Management: The US Experience », *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, vol. 3, pp.111-112.

Calvet L. et C. Grislain-Letrémy (2011) : « L'assurance habitation dans les départements d'Outre-mer : une faible souscription », *Économie et Statistique*, n° 447, pp. 57-70.

Camerer C.F. et H. Kunreuther (1989) : « Decision Processes for Low Probability Events: Policy Implications », *Journal of Policy Analysis and Management*, vol. 8, pp. 565-592.

Centre interdisciplinaires d'études urbaines (CIEU) (2002) : « L'explosion de l'usine AZF à Toulouse : une catastrophe inscrite dans la ville », *Mappemondes*, vol. 6, pp. 23-28.

Centre européen de prévention du risque d'inondation (CEPRI) (2009) : *Un logement « zéro dommage » face au risque d'inondation est-il possible ?* Disponible sur http://www.cepri.net/tl_files/pdf/ceprilogementzerodommage.pdf

Centre d'études techniques maritimes et fluviales (CETMF) (2012) : *Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France (Manche et Atlantique)*, Service hydrographique et océanographique de la Marine, Réf. C12.04, mai.

Chatry C., M. Le Quentrec, D. Laurens, J-Y. Le Gallou, J-J. Lafitte, B. Creuchet et J. Grelu (2010) : *Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts*, Rapport de la mission interministérielle CGAAER/CGEDD/IGA.

Cohen M. et J-M. Tallon (2000) : « Décision dans le risque et l'incertain : l'apport des modèles non additifs », *Revue d'Économie Politique*, vol. 110, pp. 631-682.

Comité de la prévention et de la précaution (CPP) (2006) : *Nanotechnologies, nanoparticules. Quels dangers, quels risques ?*, MEDD, juin.

Cornu G. (1987) : *Vocabulaire juridique*, Presses Universitaires de France.

Cour des comptes (2012a) : *Les coûts de la filière électronucléaire*, Rapport public thématique, La Documentation française, janvier.

Cour des comptes (2012b) : *Les enseignements des inondations de 2010 sur le littoral atlantique (Xynthia) et dans le Var*, Rapport public thématique, La Documentation française, juillet.

Daston L. (1998) : *Classical Probability in the Enlightenment*, Princeton University Press.

Deline P. (2011) : *Écroulements rocheux et dégradation du permafrost en haute montagne*, Actes du séminaire international d'experts « Adaptation de la gestion des risques naturels face au changement climatique », pp. 64-68.

Dumas P., A.C.H. Legrand, A. Macaire, C. Dimitrov, X. Martin et C. Queffelec (2005) : *Rapport particulier sur la prévention des risques naturels et la responsabilisation des acteurs*, Mission d'enquête sur le régime d'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles, IGF/CGPC/IGE.

Ehrard-Cassegrain A., E. Masse et P. Momal (2006) : « Évolution du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles », *Série Synthèse DEEE, MEDD*, n° 04-S06.

Elliott D. (dir.) (2007) : *Nuclear or Not? Does Nuclear Power Have a Place in a Sustainable Energy Future*, Palgrave McMillan.

Erdlenbruch K., E. Gilbert, F. Grelot et C. Lescoulier (2008) : « Une analyse coût-bénéfice spatialisée de la protection contre des inondations. Application de la méthode des dommages évités à la basse vallée de l'Orb », *Ingéniérie EAT*, vol. 53, pp. 3-20.

Estève J. (2009) : « Is the 'Largest Study Ever Conducted' on Nuclear Industry Workers Really the Largest? », *Radioprotection*, vol. 44, pp. 13-20.

Fairlie I. (2007) : « New Information of Radiation Health Hazards », chapitre 6 in *Nuclear or Not? Does Nuclear Power Have a Place in a Sustainable Energy Future*, Elliot (dir.), Palgrave McMillan.

Faure M. (1995) : « Economic Models of Compensation for Damage Caused by Nuclear Accidents: Some Lessons for the Revision of the Paris and Vienna Conventions », *European Journal of Law and Economics*, vol. 2, pp. 21-43.

Faure M. et K. Fiore (2008) : « The Civil Liability of European Nuclear Operators: Which Coverage for the New 2004 Protocols? Evidence from France », *International Environmental Agreements, Politics, Law and Economics*, vol. 8, pp. 227-48.

Fédération française des sociétés d'assurance (FFSA) (2000) : « Les catastrophes naturelles », *Risques-Les Cahiers de l'Assurance*, n° 42-3, juin.

Fédération française des sociétés d'assurance (FFSA) (2011) : *La tempête Xynthia du 28 février 2010. Bilan chiffré au 31 décembre 2010*, Rapport FFSA/GEMA, février.

Fédération française des sociétés d'assurance (FFSA) (2011) : « Peut-on gérer le risque nucléaire ? », *Risques-Les Cahiers de l'Assurance*, n° 86-2, juin.

Fédération française des sociétés d'assurance (FFSA) (2012) : « Les tempêtes en Europe : un risque en expansion », *Risques-Les Cahiers de l'Assurance*, n° 91-2, septembre.

Foasso C. (2003) : *Histoire de la sûreté de l'énergie nucléaire civile en France (1945-2000)*, Thèse de doctorat en Histoire moderne et contemporaine, Université Lumière-Lyon II.

Franc-Valluet F. (1978) : « De la règle 'L'État est son propre assureur' », *Revue Générale des Assurances Terrestres*, n° 4.

Frécon J-C. et F. Keller (Sénateurs) (2009) : *Sécheresse de 2003 : un passé qui ne passe pas*, Rapport d'information au nom du groupe de travail, sur la situation des sinistrés et le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles constitué par la Commission des finances, Rapport n° 39 (2009-2010), 14 octobre.

Freeman P.K., L.A. Martin, R. Mechler, K. Warner et P. Hausman (2002) : « Catastrophes and Development: Integrating Natural Catastrophes into Development Planning », *Disaster Risk Management Working Paper Series*, n° 4, Banque mondiale, Washington, DC.

Gilboa I. (2009) : *Theory of Decision Under Uncertainty*, Cambridge University Press.

Godard O., C. Henry, P. Lagadec et E. Michel-Kerjan (2002) : *Traité des nouveaux risques*, Gallimard, Folio.

Gollier C. (1997) : « About the Insurability of Catastrophic Risks », *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, vol. 22, pp. 177- 186.

Gollier C. (1999) : *The Economics of Risk and Time*, MIT Press, Cambridge.

Gollier C. (2005) : « Coûts de l'inassurabilité et coût de l'assurance », *Revue d'Économie Financière*, n° 80, pp. 39-52.

Grislain-Letrémy C. (2012) : *Assurance et prévention des catastrophes naturelles et technologiques*, Thèse de doctorat en sciences économiques, Université Paris-Dauphine.

Grislain-Letrémy C. et C. Peinturier (2010a) : « Le régime des catastrophes naturelles en France métropolitaine », *Études et Documents MEEDDAT*, n° 22.

Grislain-Letrémy C. et C. Peinturier (2010b) : « Le régime des catastrophes naturelles en France métropolitaine entre 1995 et 2006 », *Le Point Sur*, n° 54, MEEDDAT.

Grislain-Letrémy C. et C. Peinturier (2012) : « L'indemnisation des risques naturels en France : implication de l'Etat, enjeux et perspectives », chapitre 10 in *Gestion des risques naturels. Leçons de la tempête Xynthia*, Przyluski et Hallegatte (dir.), Editions Quae, Versailles.

Guesnerie R. (2003) : *Kyoto et l'économie de l'effet de serre*, Rapport du CAE, n° 39, La Documentation française.

Hayn M.R. (1999) : « The Evolution of Probabilistic Risk Assessment in the Nuclear Industry », *Transactions of the Institution of Chemical Engineers (Part B)*, vol. 77, pp. 117-141.

Hernu H., R. Kbaier, F. Pelletier, P. Puech, P. Rochet, M. Casteigts, X. de Furst, B. Jullien, J. Rochard, L.P. Balay et M. Guillet. (2010) : *Rapport sur l'évaluation des dommages causés par la tempête Xynthia des 27 et 28 février 2010 à prendre en compte au titre du fonds de solidarité de l'Union européenne*, CGEDD/IGA/IGF/CGAAER.

IGA (2002) : *Avis délibéré sur les retours d'expérience des inondations catastrophiques et les inspections des services déconcentrés en charge des risques naturels réalisés depuis l'année 1999*, IGA/CGPC/CGREF/IGE, MEDDTL.

Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2009) : *Le réexamen de sûreté des réacteurs à eau sous pression de 900 MWe à l'occasion de leurs troisièmes visites décennales*, Rapport DSR, n° 285.

Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2012) : *Fukushima, un an après. Premières analyses de l'accident et de ses conséquences*, Rapport IRSN/DG/2012-001.

Jorland G. (2010) : *Une société à soigner. Hygiène et salubrité publiques en France au XIX^e siècle*, Gallimard.

Kahneman D., Slovic, P. et A. Tversky (1982) : *Judgment Under Uncertainty: Heuristics and Biases*, Cambridge University Press.

Kahneman D. et A. Tversky (2000) : *Choices, Values and Frames*, Cambridge University Press.

Kaplan S. et B.J. Garrick (1981) : « On the Quantiative Definition of Risk », *Risk Analysis*, vol. 1, pp. 11-27.

Kert C. (Député) (2008) : *La sécurité des barrage en question*, Rapport sur l'amélioration de la sécurité des barrages et ouvrages hydrauliques, Les rapports de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST), août.

Keynes J.M. (1921) : *A Treatise on Probability*, MacMillan, Londres.

Knight F.H. (1921) : *Risk, Uncertainty and Profit*, Houghton Mifflin, Boston.

Kunreuther H.C. et E.O. Michel-Kerjan, N.A. Doherty et M.F. Grace (2009) : *At War with the Weather: Managing Large-Scale Risks in a New Era of Catastrophes*, The MIT Press.

Kunreuther H. et E. Michel-Kerjan (2011) : « People Get Ready. Disaster Preparedness », *Issues in Science and Technology*, vol. 28, pp. 1-7.

Lahidji R. (2012) : *Incertitude, causalité et décision : le cas des risques sociaux et du risque nucléaire en particulier*, Thèse de doctorat en sciences de gestion, École des hautes études commerciales, Jouy-en-Josas.

Laroche R. (2008) : *Les événements naturels dommageables en France et dans le monde en 2007*, DGPR, MEDD, décembre.

Latruffe L. et P. Picard (2005) : « Assurance des catastrophes naturelles : faut-il choisir entre prévention et solidarité ? », *Annales d'Économie et de Statistiques*, n° 78, pp. 33-56.

Le Pichon X., S. Mazzotti, P. Henry et M. Hashimoto (1998) : « Deformation of the Japanese Islands and Seismic Coupling: An Interpretation Based on GSI Permanent GPS Observations », *Geophysical Journal International*, vol. 134, pp. 501-504.

Le Quentrec, J-L. Ravard et P. Verdeaux (2009) : « Le ruissellement urbain et les inondations soudaines. Connaissance, prévention, prévision et alerte », *Rapport du CGEDD*, n° 005487-01**,** février.

Le Roux T. (2009) : « La mise à distance de l'insalubrité et du risque industriel en ville : le décret de 1810 mis en perspective », *Histoire et Mesure*, vol. 24, n° 2.

Le Roux T. (2011) : « Accidents industriels et régulation des risques. L'accident de la poudrerie de Grenelle en 1794 », *Revue d'Histoire Moderne et Contemporaine*, vol. 58, n° 3.

Ledoux B., G. Hubert, C. Reliant et F. Grelot (2007) : « Évaluations socio-économiques des instruments de prévention des inondations », *Études et Synthèses de la D4E, MEDAD*, n° E07-04.

Leone F., N. Meschinet de Richemond et F. Vinet (2010), *Aléas naturels et gestion des risques*, Presses Universitaires de France.

Magnier C. (2011) : « Le risque de feux de forêts en France », *Études et Documents, CGDD*, n° 45, août.

Mahieu P. et E. Wesolek (2008) : *La tornade F4 du 3 août 2008 en Val de Sambre*, Keraunos, Observatoire français des tornades et des orages violents et Association météorologique du Nord-Pas de Calais.

de Marcellis-Warin, I. Peignier et B. Sinclair-Desgagné (2003) : *L'inspection des installations dangereuses : les expériences aux États-Unis et en France*, Ministère de la Sécurité publique du Québec, Montréal, Cirano, 2003-RP08.

Martinais E. (1996) : « Gestion du risque industriel et conflits territoriaux, le cas de Saint-Fons, commune de l'agglomération lyonnaise », *Géocarrefour-Revue de Géographie de Lyon*, vol. 71, pp. 31-44.

Martinais E. (2007) : « L'administration des risques industriels : entre renouvellement et stabilité », *Regards sur l'actualité*, n° 328, La Documentation Française, pp. 25-37.

Massard-Guilbaud G. (2010) : *Histoire de la pollution industrielle en France, 1789-1914*, Éditions de l'EHESS.

Mechler,R., S. Hochrainer, J. Linnerooth-Bayer et J. Pflug (2006) : « Public Sector Financial Vulnerability to Disasters: The IIASA CATSIM Model » in *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies*, Birkmann (dir.), United Nations University Press, Tokyo, pp. 380-99.

Ministère du Développement durable (2005) : *Plan de prévention des risques technologiques. Guide méthodologique*, MEDDTL.

Ministère du Développement durable (2007) : *Le plan de prévention des risques technologiques (PPRT). Guide méthodologique*, MEDAD.

Ministère du Développement durable (2011) : *La démarche française de prévention des risques majeurs*, MEDDTL, mise à jour du 25 août.

Ministère du Développement durable (avec le concours de B. Ledoux) (2012) : *Mieux savoir pour mieux agir : principaux enseignements de la première évaluation des risques d'inondation sur le territoire français*, EPRI 2011, MEDDE, DGPR, juillet.

Minoura K., F. Imamura, D. Sugawara, Y. Kono et T. Iwashita (2001) : « The 869 Jogan Tsunami Deposit and Recurrence Interval of Large-Scale Tsunami on the Pacific Coast of Northeast Japan », *Journal of Natural Disaster Science*, vol. 23, pp. 83-8.

Mioche P. (2010) : « Alumine et risques industriels : le cas des boues rouges et des résidus ». *Document de Travail de l'Institut pour l'histoire de l'aluminium*.

Mission d'expertise sur les crues de septembre 2002 (2003) : *Retour d'expérience des crues de septembre 2002*, MEDDTL.

Mission d'inspection sur la tempête Xynthia (2010) : *Tempête Xynthia : retour d'expérience, évaluation et propositions d'action*, MEDDTL.

Mission d'inspection sur les inondations du Var (2010) : *Retour d'expérience des inondations survenues dans le Var les 15 et 16 juin 2010*, MEDDTL.

Mongin P. (2011) : « La théorie de la décision et la psychologie du sens commun », *Information sur les sciences sociales/Social Science Information*, vol. 50, pp. 351-374.

Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique en France métropolitaine et dans les départements et territoires d'outre-mer (ONERC) (2009) : *Changement climatique. Coût des impacts et pistes d'adaptation*, Rapport au Premier ministre et au Parlement, La Documentation française

Pascal A. (2011) : *Le risque d'accident nucléaire : une approche territoriale*, Métropolitiques, octobre. Disponible sur http://www.metropolitiques.eu/Le-risque-d-accident-nucleaire-une.html

Pénet S. (2011) : *Les régimes assurantiels face aux catastrophes*, Communication à la Conférence de la FFSA et du Haut-Comité français pour la Défense civile 'L'assurance française contre les catastrophes', le 2 juin 2010.

Picard P. (2008) : « Natural Disaster Insurance and the Equity-Efficiency Trade-Off », *Journal of Risk and Insurance*, n° 75, pp. 17-38.

Pigeon P. (2005), *Géographie critique des risques*, Economica.

Plat E., M. Vincent, N. Lenôtre, C. Peinturier, B. Poupat, P. Dorelon, P. Chassagneux, J. Kazmierczak, J-L. Salagnac, S. Gerin, R. Nussbaum et J. Chemitte (2009) : *Estimation des coûts du changement climatique liés à l'aléa retrait-gonflement*, Contribution au rapport final du Groupe de travail 'Risques naturels, assurances et changement climatique', BRGM/RP-56771-FR.

Poiret N. (1998) : « Odeurs impures », *Terrain*, n° 31, pp. 89-102

Pradier P.C. (1998) : *Concepts et mesures du risque en théorie économique. Essai historique et critique*, Thèse de doctorat en sciences économiques, École normale supérieure de Cachan.

Pradier P.C. (2006) : *La notion de risque en économie*, La Découverte.

Przyluski V. et S. Hallegatte (dir.) (2012) : *Gestion des risques naturels. Leçons de la tempête Xynthia*, Editions Quae.

Renard B. (2006) : *Détection et prise en compte d'éventuels impacts du changement climatique sur les extrêmes hydrologiques en France*, Thèse de doctorat, Institut national polytechnique, Grenoble.

Rochet P., M. Gombert, J. Nadeau, F. Pelletier, P. Puech, M. Casteigts, X. de Furst, B. Jullien, J. Rochardet (2010) : *Rapport sur l'évaluation des dommages causés par la tempête Xynthia aux biens non assurés des collectivités territoriales à prendre en compte au titre de la mise en œuvre du programme 122*, CGEDD/IGA/IGF.

Rothschild M. et J.E. Stiglitz (1970) : « Increasing risk: I. A Definition », *Journal of Economic Theory*, vol. 2, pp. 225-243.

Sanseverino-Godfrin V. (1996) : *L'État, les compagnies d'assurance et les risques majeurs*, Thèse de doctorat en droit, Université de Nice-Sophia-Antipolis.

Sanseverino-Godfrin V. (2010) : « La place de la ville dans les dispositions juridiques visant à prévenir les risques industriels », *Revue de Droit de l'Environnement*, n° 182, pp. 291-295.

Sauvage L. (1997) : *L'impact du risque industriel sur l'immobilier*, La Librairie du Foncier, ADEF Éditions.

Sauvage L. (2002) : « La maîtrise de l'urbanisation autour des sites industriels à risque », *Études Foncières*, n° 95, pp. 28-29.

Savage L.J. (1972) : *The Foundations of Statistics*, Dover, New York, 2e éd. (1re éd. : 1954).

Schmitt A. et S. Spaeter (2007) : « Risque nucléaire civil et responsabilité optimale de l'exploitant », *Revue Économique*, n° 58, pp. 1331-51.

Slovic P. (2000) : *The Perception of Risk*, Earthcan, Londres.

Sogreah (2002) : *Étude de faisabilité pour l'aménagement de la Touloubre aval. Approche économique des dommages liés aux inondations de la Touloubre rapportés aux coûts des travaux d'aménagement*, Syndicat d'aménagement de la Touloubre.

Spiegelberg-Planer R. (2009) : « A Matter of Degree », *IAEA Bulletin*, n° 51, septembre, pp. 46-49.

Starr C. (1969) : « Social Benefit versus Technological Risk », *Science*, vol. 165, pp. 1232-1238.

Stern N. (2009) : *A Blueprint for a Safe Planet*, Vintage.

Thouret J-C. (2002) : « Aléa et risque volcanique : mieux comprendre pour prévoir et mieux gérer pour durer », *Annales de Géographie*, n° 627-628, pp. 503-523.

Todhunter I. (1865) : *A History of the Mathematical Theory of Probability from the Time of Pascal to that of Laplace*, MacMillan, Londres.

Trebilcock M. et R. Winter (1997) : « The Economics of Nuclear Accident Law », *International Review of Law and Economics*, vol. 17, pp. 215-43.

van der Pligt J. (1993) : *Nuclear Energy and the Public*, Blackwell, Oxford.

Vaulont I. et J.L. Vo Van Qui (2012) : *Rapport sur l'indemnisation des dégâts miniers*, CGEDD/CGIET.

Veyret Y. (2004) : *Géographie des risques naturels en France*, Hatier.

Veyret Y. et M. Reghezza (2005) : « Aléas et risques dans l'analyse géographique », *Annales de l'École des Mines*, octobre, pp. 61-69. Disponible sur http://www.annales.org/re/2005/re40/veyret.pdf

Vigdor J. (2008) : « The Economic Aftermath of Hurricane Katrina », *Journal of Economic Perspectives*, vol. 22, pp. 135-54.

von Neumann, J. et O. Morgenstern (1947) : *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press (1re éd. : 1944).

Wakker P. (2010) : *Prospect Theory*, Cambridge University Press.

# Auditions

**Maya Atig**
Directrice générale adjointe de l'Agence France Trésor,
ancienne sous-Directrice des assurances à la Direction générale du Trésor

**David Azema**
Commissaire aux participations de l'État, ancien Président de KEOLIS

**Nicolas Bauduceau**
Directeur scientifique et technique, Centre européen de prévention
des risques d'inondation (CEPRI)

**Geneviève Baumont**
Membre du collège des experts, Institut de radioprotection et de sûreté
nucléaire (IRSN)

**Patrick Bidan**
Directeur de la souscription, Caisse centrale de réassurance (CCR)

**Stéphanie Bidault**
Déléguée générale, Centre européen de prévention des risques
d'inondation (CEPRI)

**Jean Boissinot**
Chef du pôle d'analyse économique du secteur financier, Direction
générale du Trésor

**Éric Defretin**
Chef du pôle de gestion de crise à la Mairie de Paris

**Philippe Diebold**
Directeur de l'unité Équipements, stations et ouvrages d'art, RATP

**Emmanuel Durousseau**
Directeur, SCOR Alternative Investments SE

**Jacques Faye**
Chef du bureau de l'information préventive, de la coordination
et de la prospective au ministère de l'Écologie

**Christian Gollier**
Professeur à l'Université de Toulouse, Directeur de l'École d'économie
de Toulouse

**Rodolphe Guillois**
Gérant de la société EXAMO, expert en inondations

**François Hédou**
Direction générale de la prévention des risques, ministère de l'Écologie

**Philippe Hubert**
Directeur des risques chroniques, Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS)

**Hervé Le Treut**
Directeur de recherche au CNRS, Directeur de l'Institut Pierre-Simon Laplace, expert du GIEC

**Anne-Marie Levraut**
Présidente de la Commission permanente des ressources naturelles (CPRN), Commissariat général à l'écologie et au développement durable, ancien Chef du service des risques naturels et hydrauliques, Direction générale de la prévention des risques, ministère de l'Écologie

**Laurent Montador**
Directeur des catastrophes naturelles, fonds publics et études techniques, Caisse centrale de réassurance

**Paul Nunn**
Head of Natural Catastrophe Modelling, SCOR SE, UK Branch

**Stéphane Pallez**
Président directeur général de la Caisse centrale de réassurance

**Victor Peignet**
Directeur général de SCOR Global P&C SE

**Cédric Peinturier**
Chef du pôle risques et crises, Direction départementale des territoires et de la mer d'Ille-et-Vilaine, ministère de l'Écologie

**Stéphane Pénet**
Directeur des assurances de biens et de responsabilité, Fédération française des sociétés d'assurance

**Jacques Percebois**
Professeur à l'Université de Montpellier

**Serge Planton**
Responsable de l'unité de recherche climatique, Centre de recherches de Météo France, expert du GIEC

**Antoine Quantin**
Directeur des études techniques, Caisse centrale de réassurance

**Valérie Sanseverino-Godfrin**
Ingénieur de recherche, Centre de recherches sur les risques et les crises, École des Mines-Paritech

**Sandrine Spaeter**
Professeur à l'Université de Strasbourg

**Cees Veerman**
Ancien ministre, ancien Président du Comité Delta, Pays-Bas

**Bertrand Villeneuve**
Professeur à l'Université Paris Dauphine

Complément A

# La modélisation des risques majeurs en réassurance avec garantie de l'État : application au régime français des catastrophes naturelles

**Antoine Quantin et David Moncoulon**
*Caisse centrale de réassurance (CCR)*

## 1. Introduction

### 1.1. Définition, typologie et couvertures des risques majeurs

Un risque majeur peut être défini comme un événement potentiel dont les conséquences en termes humains ou de dommages matériels sont très importantes. À ce critère, certains ajoutent celui d'une très faible probabilité de survenance.

Les risques majeurs peuvent être soit d'origine humaine, soit d'origine naturelle. L'encadré suivant en fournit une typologie détaillée.

De même que tous les pays ne sont pas exposés aux mêmes périls et au même niveau de risque, de même la couverture des dommages consécutifs varie fortement selon les pays et peut prendre différentes formes, allant de l'indemnisation *via* des fonds publics à une prise en charge laissée au marché privé de l'assurance et de la réassurance, en passant par des partenariats publics-privés.

En France, ces trois formes de couvertures coexistent. À titre d'exemples :

- les risques naturels considérés comme assurables (tempêtes/ouragans, grêle, poids de la neige, gel) font l'objet de garanties d'assurance facultatives ou obligatoires et sont couverts par le marché privé de l'assurance et de la réassurance ;
- les risques naturels considérés comme non assurables (inondations, séismes, sécheresse, volcanisme notamment) – c'est-à-dire ne per-

## Typologie détaillée des risques majeurs

*1. Risques d'origine naturelle*

- climatiques
  - tempêtes/tempêtes de neige
  - ouragans/cyclones
  - tornades
  - grêle
  - canicules
  - sécheresse
  - grand froid
  - avalanches
  - inondations
  - feux de forêt
- telluriques (ou géologiques)
  - séismes
  - mouvements de terrain
  - glissements de terrain
  - chutes de bloc
  - éruptions volcaniques
  - tsunamis
  - érosion côtière
  - éruptions limniques
- spatiaux
  - chutes de météorite
  - éruptions solaires
- biologiques (ou sanitaires)
  - pandémies
  - épizooties
  - risques phytosanitaires

*2. Risques d'origine anthropique*

- technologiques
  - risques miniers
  - accidents industriels
  - accidents nucléaires
  - ruptures de barrages
  - transport de matières dangereuses
- terroristes
  - attaques conventionnelles
  - NRBC
- risques de guerre et émeutes
  - conflits armés
  - révoltes populaires
  - coups d'État

mettant pas à l'ensemble de la population d'accéder à une couverture d'assurance à un prix modique sans encadrement public de la garantie – sont couverts dans le cadre du régime des catastrophes naturelles (appelé régime Cat Nat par la suite) qui repose sur un partenariat public-privé. De même la couverture du risque de terrorisme en particulier NBCR repose sur un type de partenariat comparable.

- les dommages consécutifs à certains événements naturels sur certaines récoltes sont pris en charge par le Fonds national de gestion des risques agricoles.

La limite entre risques assurables et non assurables n'est pas figée.

### 1.2. Principe de la modélisation de catastrophes en assurance et réassurance

Pour appréhender leur exposition aux risques majeurs assurés, les assureurs et réassureurs utilisent le plus souvent des modèles de catastrophes. Ils peuvent soit avoir développé des modèles en interne, soit utiliser des modèles développés et commercialisés par les agences de modélisation ou les courtiers de réassurance.

Ces modèles d'éditeurs sont apparus à la fin des années quatre-vingt et le début des années quatre-vingt-dix avec la création des trois principales entreprises intervenant dans ce domaine :

- AIR, fondé en 1987 ;
- RMS, fondé en 1988 ;
- EQECAT, fondé en 1994.

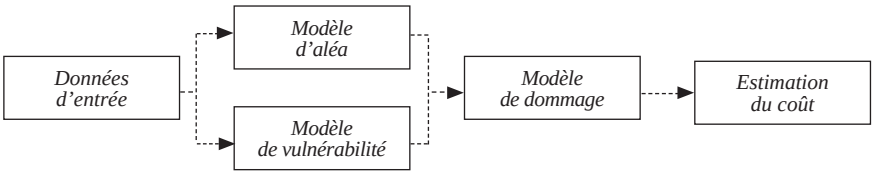
Ces entreprises ont commencé par développer des modèles d'ouragan et de tremblements de terre aux États-Unis. La couverture de ces modèles s'est progressivement étendue à d'autres périls et d'autres territoires, comme par exemple, le tremblement de terre au Japon, la tempête en Europe.

Ces modèles, quel que soit le péril traité, se composent de quatre modules :

- un modèle d'aléa qui a pour objectif de caractériser l'intensité du phénomène physique étudié : l'épicentre et la magnitude pour un tremblement de terre, les vitesses de vents en rafales pour les tempêtes…
- un modèle de vulnérabilité ou d'expositions, qui recense l'ensemble des risques couverts, avec leurs caractéristiques et les valeurs assurées ;
- un modèle de dommages, qui à partir du croisement entre l'aléa et la vulnérabilité permet d'estimer le montant des dommages ;
- un module financier qui applique les conditions d'assurance et de réassurance pour estimer des pertes brutes et nettes de réassurance.

Le schéma suivant illustre la structure classique d'un modèle de catastrophe.

**1. Structure classique d'un modèle de catastrophe**




*Source* : CCR.

Les modèles peuvent être appliqués :

- soit sur un événement donné, on parle alors de modèle déterministe ;
- soit, dans une logique de tarification notamment, sur un catalogue comportant un très grand nombre d'événements, à chacun desquels on associe une probabilité de survenance. Ceci permet en sortie d'obtenir une distribution des probabilités de pertes par événement ou par année.

Dans la pratique on étudie le plus souvent la fonction *S* représentant la probabilité de dépasser un certain montant de pertes :

$$S(x) = P(X > x) = 1 - F(x)$$

où *F(x)* est la fonction de répartition des pertes et *X* est la perte.
*S(x)* est ainsi la fonction de répartition décumulative des pertes.

On parle d'*Exceedance Probability Curves*, communément appelées *EP Curves*.

Dans le cas de la distribution des pertes par événement, on parle d'*OEP Curve* pour *Occurrence Exceedance Probability Curve*. Ces courbes fournissent la probabilité annuelle qu'au moins un événement dépasse un certain seuil de pertes.

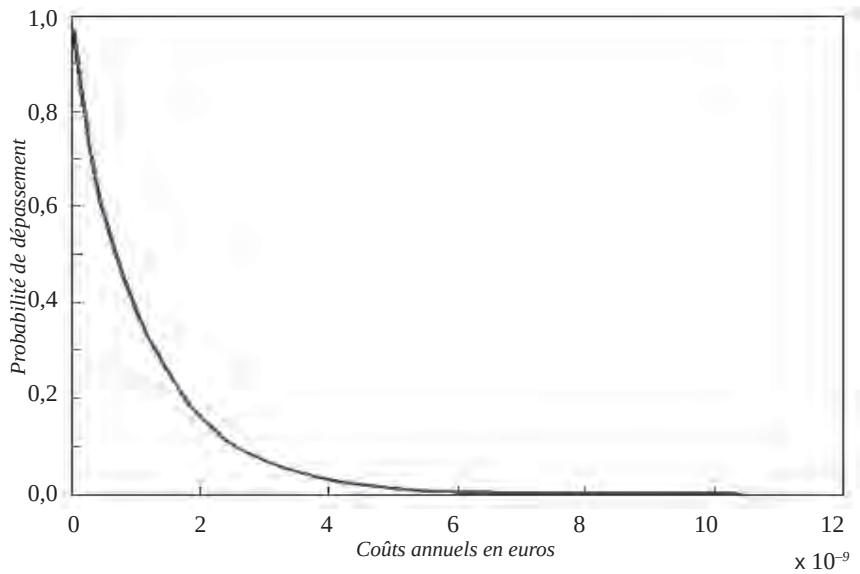
L'affectation d'une probabilité de survenance à un événement donné est souvent difficile. En effet, chaque événement est par nature unique – dans le cas d'une tempête par exemple, on n'obtiendra jamais deux fois exactement les mêmes vitesses de vent en tout point du territoire. Par conséquent, même en caractérisant un événement par un nombre fini de variables, sa probabilité annuelle de survenance est en théorie nulle, les variables caractéristiques de l'aléa étant continues. Dans la pratique, comme on travaille sur un nombre fini d'événements, on peut soit affecter la même probabilité à chaque événement du catalogue, soit affecter une probabilité à dire d'expert, soit construire des classes d'événements comparables, auxquelles on pourra affecter la probabilité *P* suivante :

$$P_i = \frac{N_i}{N}$$

où $N_i$ est l'effectif de la classe d'événements *i* et *N* est le nombre d'années fictives générées pour construire le catalogue d'événements.

À partir du catalogue d'événements fictifs, on peut également construire un catalogue d'années fictives, en faisant différentes hypothèses sur la probabilité d'obtenir plusieurs événements la même année, on parlera alors d'*AEP Curve*, pour *Aggregate Exceedance Probability Curve*. Ces courbes fournissent la probabilité que les pertes annuelles, qu'elles soient liées à 1 ou *n* événements, dépassent un certain seuil. Un exemple est fourni par la figure suivante.

**2. Exemple d'*Aggregate Exceedance Probability Curve***




*Source* : CCR.

Ces courbes sont usuellement construites par simulations Monte Carlo en tenant compte de deux types d'incertitude :

- l'incertitude sur le nombre d'événements survenant chaque année et sur l'intensité des événements. On parle alors d'incertitude primaire ;
- l'incertitude sur le montant des dommages, sachant qu'un événement donné est survenu. On parle alors d'incertitude secondaire.

À partir de cette distribution, on peut estimer différentes grandeurs ou mesures de risques classiquement utilisées, notamment :

- l'espérance annuelle de pertes ;
- l'écart-type afin d'appréhender la volatilité des pertes ;
- la *Value at Risk* (*VaR*), correspondant au quantile de pertes, pour une durée de retour donnée ;
- la *Tail Value at Risk (TVaR)*, correspondant à la moyenne des pertes au-delà d'une durée de retour donnée.

Les assureurs et réassureurs utilisent ces modèles pour leur tarification, la sélection et l'analyse de la rentabilité des affaires, l'allocation de capital et la gestion des cumuls.

Nous verrons par la suite que les applications dans le cadre de la réassurance avec garantie de l'État diffèrent.

## 1.3. Rôle de CCR et travaux menés en son sein

### *1.3.1. Le rôle de CCR*

Créée en 1946, la Caisse centrale de réassurance (CCR), société anonyme détenue à 100 % par l'État français, est le réassureur mettant à disposition une réassurance avec garantie de l'État, afin de rendre opérants les acteurs du marché, qui, sans cette garantie, ne pourraient couvrir certains risques exceptionnels.

CCR est chargée de concevoir, mettre en œuvre et gérer des instruments performants répondant à des besoins de couverture, au service de ses clients et de l'intérêt général.

C'est dans ce cadre qu'elle intervient pour délivrer une couverture de réassurance avec garantie de l'État, pour les risques de catastrophes naturelles, depuis l'instauration du régime Cat Nat en 1982, et pour les risques de terrorisme en France, métropole et Outre-mer.

Cette garantie est illimitée en montant. Ainsi, les assurés comme les assureurs bénéficient d'une sécurité maximale concernant l'indemnisation, dans l'hypothèse de la survenance de sinistres majeurs.

CCR intervient également dans la plupart des branches et des marchés de la réassurance internationale comme l'incendie, les dommages aux biens, la vie et assurances de personnes, l'automobile, le transport maritime ou aérien par exemple. Ceci lui permet d'enrichir sa compétence sur des risques exceptionnels ou émergents, qui pourraient nécessiter la garantie de l'État, et d'accomplir ainsi ses missions pour le compte de l'État.

### *1.3.2. Les travaux menés à CCR*

Au fil des années, CCR a développé son expertise en améliorant sa connaissance des périls naturels et de la vulnérabilité des zones exposées à partir de l'analyse des données qu'elle a collectées. Elle a contribué à l'évaluation des conséquences financières des catastrophes naturelles en élaborant ses propres outils de modélisation en complément de ceux existants.

Ces travaux lui ont permis d'assurer au mieux le maintien de l'équilibre financier du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles au bénéfice de la collectivité.

Les outils mis en place par CCR sont présentés ci-après.

#### 1.3.2.1. La collecte de données

Dans le cadre de son rôle de secrétaire de la commission interministérielle catastrophes naturelles, CCR tient à jour une base de données recensant l'intégralité des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pris sur le territoire depuis 1982.

Par ailleurs, depuis une dizaine d'années, CCR collecte, auprès des entreprises d'assurance qu'elle réassure, dans un cadre contractuel bilatéral, des données qui permettent de mieux connaître l'exposition du territoire aux catastrophes naturelles. Ces données portent :

- sur les risques assurés, localisés à l'adresse ou à la commune ;
- sur les sinistres survenus.

Cette base de données représente, en fonction des années, jusqu'à 70 % de part de marché pour les risques et 50 % pour les sinistres. Elle est enrichie au fil du temps et permet à CCR de développer sa connaissance et son expertise en matière de catastrophes naturelles en France. Des indicateurs d'exposition aux risques sont ainsi élaborés et mis à disposition des pouvoirs publics grâce à des conventions bilatérales. Ils contribuent à identifier les territoires sur lesquels mener des mesures de prévention prioritaires, mais également à évaluer l'efficacité de la prévention.

#### 1.3.2.2. La modélisation des périls couverts

Très rapidement la collecte d'information s'est accompagnée à CCR de travaux de modélisation des principaux périls couverts dans le cadre du régime Cat Nat ou d'autres dispositifs avec la garantie de l'État.

CCR développe à ce jour des travaux de modélisation tant déterministe que probabiliste sur les quatre principaux périls relevant du régime Cat Nat : inondation, sécheresse (retrait-gonflement des argiles), séisme et vents cycloniques. Le risque de terrorisme est également modélisé. Pour ce péril, CCR se limite à une modélisation déterministe par scénario, sa probabilisation étant jugée peu crédible.

Pour ce faire, CCR développe des partenariats avec les organismes scientifiques de référence, en particulier avec Météo France et l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA) pour la modélisation des inondations, avec Météo France et le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) pour la modélisation de la sécheresse, avec le BRGM pour la modélisation des séismes.

Dans la suite de ce complément nous illustrons les travaux de modélisation des risques majeurs dans le cadre de la réassurance avec garantie d'État et leurs applications, à partir de l'exemple du risque inondation, pour lequel CCR a initié une modélisation depuis maintenant dix ans.

## 2. Le modèle déterministe inondation de CCR

### 2.1. Zoom sur le péril inondation

Parmi les périls couverts dans le cadre du régime Cat Nat, les inondations apparaissent comme le péril le plus important auquel la France a à faire face. Ceci est vrai, non seulement si l'on observe la fréquence de ces phénomènes et la gravité des événements passés, mais également en termes d'événements potentiels. Ainsi, avec des indemnisations cumulées depuis 1990 supérieures à 8 milliards d'euros, les inondations constituent le premier poste de sinistres à charge du régime Cat Nat, soit 58 % des indemnisations versées depuis 1990.

Ceci s'explique notamment par la densité du réseau hydrographique français, qui représente environ 315 000 km.

Les inondations font, en effet, traditionnellement référence au débordement d'un ou plusieurs cours d'eau. Néanmoins par son régime climatique varié et sa morphologie, le territoire métropolitain français est exposé à d'autres types d'inondations, notamment, les phénomènes de ruissellement en dehors des cours d'eau.

Cinq grands types d'inondations peuvent ainsi être identifiés.

- les inondations de plaine (crues lentes) ;
- les inondations par remontée de nappe ;
- les inondations torrentielles (crues-éclair) ;
- les inondations par ruissellement ;
- les inondations littorales ou submersions marines.

Les données de CCR montrent que le débordement seul ne représente, sur les événements d'inondation depuis 1999, que 50 % du montant total des sinistres. Les autres types, dont le ruissellement, la submersion marine, les remontées de nappes, représentent l'autre moitié des dommages, l'essentiel étant toutefois causé par le ruissellement.

Compte tenu de sa complexité, le péril inondation a été l'un des derniers à être étudié par les agences de modélisation. En effet, sa modélisation nécessite un grand nombre de données à la fois très précises et coûteuses. Il s'agit en particulier de disposer, pour caractériser l'aléa :

- d'un modèle numérique de terrain (MNT), qui donne l'altitude sur une grille du territoire ;
- de données géographiques sur le réseau hydrographique ;
- de données pluviométriques, si l'on souhaite caractériser les événements par la pluviométrie, ou de données sur les débits, si l'on ne souhaite modéliser que le phénomène de débordement de cours d'eau.

En outre, pour caractériser la vulnérabilité du portefeuille il est né-

cessaire de disposer d'une localisation suffisamment précise des risques, idéalement à l'adresse.

CCR a, pour sa part, démarré ses travaux sur ce sujet en 2003.

## 2.2. Principes généraux du modèle déterministe inondation de CCR

Le modèle de CCR traite des inondations les plus fréquentes et les plus coûteuses, à savoir les inondations par débordement et par ruissellement. Sont notamment exclues à ce jour, les inondations par remontée de nappes, ainsi que les phénomènes de submersion marine.

Pour répondre à ces objectifs, le modèle est, comme évoqué précédemment, structuré en trois sous-modules.

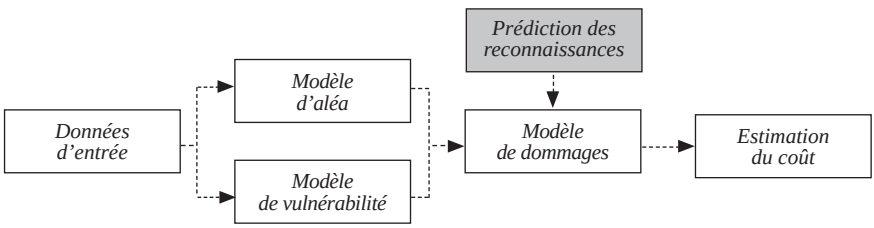
- le modèle d'aléa qui permet de caractériser l'intensité du phénomène physique ;
- le modèle de vulnérabilité, qui recense l'ensemble des risques couverts, avec leurs caractéristiques et les valeurs assurées ;
- le modèle de dommages qui déduit des données de vulnérabilité et d'aléa :

  – une probabilité que chaque commune impactée soit reconnue en état de catastrophe naturelle, donc qu'elle puisse enregistrer des dommages au titre du régime des catastrophes naturelles. C'est là une des spécificités du modèle de CCR qui s'inscrit ainsi dans le cadre du régime Cat Nat ;

  – une probabilité de sinistre, pour chaque risque impacté ;

  – par application de courbes de dommages, un coût en cas de sinistre, pour chaque risque impacté.

**3. Modèle inondation de CCR**




*Source* : CCR.

### *2.2.1. Description du modèle d'aléa*

L'objectif du modèle d'aléa est de caractériser l'intensité du phénomène physique, c'est-à-dire de calculer les variables physiques les plus à même

d'expliquer les dégâts engendrés par un événement. Le modèle d'aléa est découpé en cinq étapes :

- *modèle d'interpolation des pluies* : des données pluviométriques sont acquises auprès de Météo France, environ 24 heures après la survenance de l'événement. Ces données pluviométriques, disponibles sur quelques dizaines de stations météorologiques pour un événement, doivent dans un premier temps être extrapolées à l'ensemble du territoire touché.
- *modèle pluie débit spatialisé* : dans un second temps, le modèle simule l'écoulement de la pluie, sur l'ensemble du territoire impacté par l'événement, en fonction de la topographie, de la couverture du sol et de son degré de saturation en eau ; cela permet de calculer des variables caractéristiques du ruissellement : débit de ruissellement et hauteur de ruissellement.
- *routage hydrologique dans la rivière* : enfin, l'eau écoulée est susceptible d'arriver jusqu'au réseau hydrographique, ce qui permet d'estimer le débit des cours d'eau au cours de l'événement.
- *modèle débit-hauteur sur chaque tronçon* : une fois le débit estimé, on peut le traduire en termes de hauteurs des cours d'eau : on parle de modèle débit-hauteur. Le passage du débit à la hauteur se fait à l'aide de l'équation de Manning qui indique que le débit d'un cours d'eau est fonction de sa pente, de la hauteur d'eau et de sa largeur.
- *propagation des hauteurs au-delà du seuil de débordement sur le MNT* : au-delà d'une certaine hauteur, le cours d'eau est susceptible de sortir de son lit majeur, ce qui entraîne le phénomène de débordement de cours d'eau. L'eau est alors propagée sur le MNT.

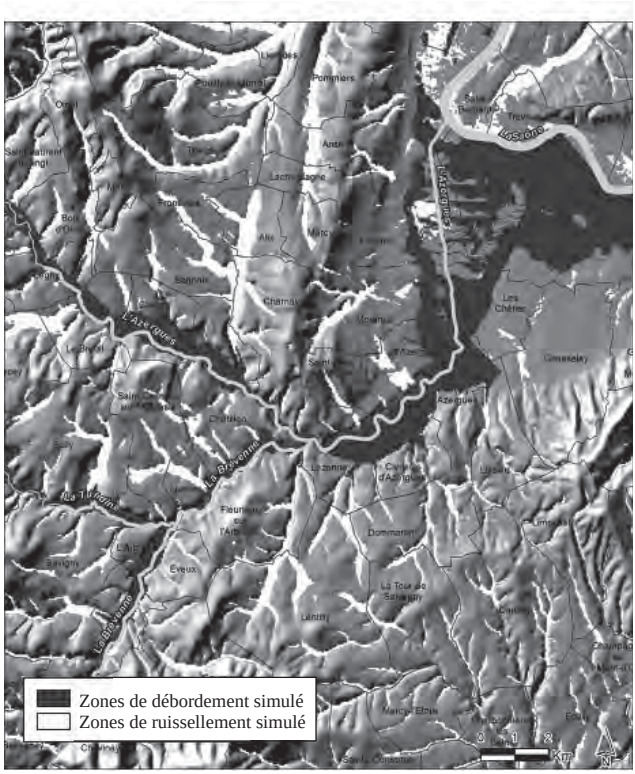
Pour des raisons de temps calcul, l'ensemble du réseau hydrographique français ne peut être traité. Par conséquent, on a sélectionné les principaux cours d'eau en fonction de leur taille et de leur ordre de rattachement aux grands fleuves français. Cette sélection représente 65 000 km.

À la fin de la simulation de l'aléa, les zones les plus touchées peuvent être cartographiées de la façon suivante (exemple des inondations ayant touché le centre-est de la France en 2008 représentées sur la carte 1).

Des données complémentaires ou alternatives aux données pluviométriques sont parfois disponibles pendant l'événement ou quelques jours ou quelques semaines après sa survenance : il s'agit en particulier des données de débit ou de hauteur d'eau des cours d'eau suivis, disponibles en temps réel sur le site www.vigicrues.gouv.fr ou *a posteriori* sur la banque Hydro (http://hydro.eaufrance.fr/), base de données de suivi des cours d'eau français (Service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision des inondations, SCHAPI, service du ministère de l'Écologie).

En l'absence de données pluviométriques, ces données permettent dans certains cas de court-circuiter le modèle pluie-débit, pour estimer directement des hauteurs de débordement à partir des débits observés et non simulés. Dans ce cas seul le phénomène de débordement est traité. Le modèle ne permet plus de prendre en compte le phénomène de ruissellement.

**1. Illustration du modèle d'aléa CCR sur les inondations du centre-est de la France en 2008**




*Source* : CCR.

### *2.2.2. Description du modèle de vulnérabilité*

Dans un premier temps, le modèle de vulnérabilité consiste, pour le portefeuille étudié, à recenser l'ensemble des risques assurés.

Dans le cas de l'inondation cela nécessite de connaître idéalement pour chaque risque :

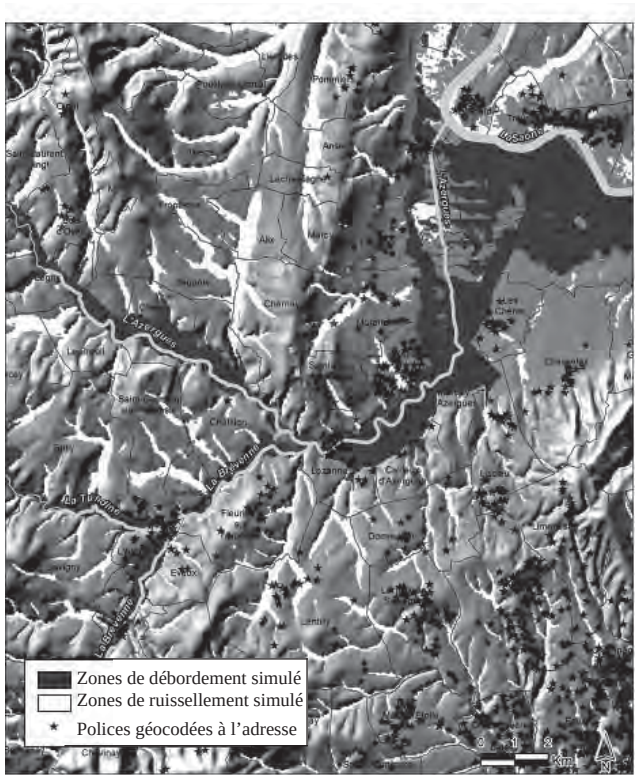
- son type (particulier, agricole, commercial, industriel) ;
- sa nature (maison, appartement, immeuble) ;
- son usage (propriétaire occupant, propriétaire non-occupant, locataire) ;
- son étage, la présence ou l'absence de cave ;
- sa localisation ;
- les valeurs assurées, avec la distinction entre contenu, contenant et perte d'exploitation ;
- les conditions d'assurance, franchises et limites de garantie notamment.

Le modèle cherche à compléter les caractéristiques de chaque risque quand elles ne sont pas connues, par exemple, l'étage du risque et les valeurs assurées.

Dans un second temps, le modèle superpose ces risques aux zones d'aléa simulées précédemment, soit directement à partir des coordonnées géographiques obtenues par géocodage de l'adresse du risque, soit en faisant des hypothèses de localisation quand l'adresse du risque n'a pu être géocodée qu'imparfaitement.

La superposition des données d'aléa et de vulnérabilité est illustrée, à partir de l'exemple des inondations ayant touché le centre-est de la France en 2008, sur la carte 2.

**2. Illustration du modèle de vulnérabilité CCR sur les inondations du centre-est de la France en 2008**




*Source* : CCR.

### *2.2.3. Description du fonctionnement du modèle de dommages*

#### 2.2.3.1. Probabilité de reconnaissance par commune

Pour chaque commune concernée par un événement, la probabilité de reconnaissance est estimée par le produit :

- d'une probabilité de demande estimée à partir des données suivantes :

  – hauteur de débordement maximale sur l'ensemble des risques de la commune ;

  – débit de ruissellement maximal sur l'ensemble des risques de la commune ;

- par une probabilité de reconnaissance en cas de demande. Cette probabilité est estimée en reprenant les critères de la commission interministérielle catastrophes naturelles, c'est-à-dire en comparant les pluies et débits simulés lors de l'événement aux pluies et débits décennaux disponibles auprès de Météo France ou du ministère de l'Écologie.

Le modèle a été calibré sur les demandes et les reconnaissances lors des événements de catastrophes naturelles survenus sur la période 1999-2008.

#### 2.2.3.2. Probabilité de sinistre

Pour l'estimation de la probabilité de sinistre, on traite à part les risques situés dans la zone de ruissellement (les risques pour lesquels la hauteur de débordement est nulle) et les risques situés dans la zone de débordement (les risques pour lesquels la hauteur de débordement est non nulle), en distinguant les types de risques suivants :

- les particuliers propriétaires occupants de maisons ;
- les particuliers locataires de maisons ;
- les particuliers propriétaires occupants d'appartements ;
- les particuliers locataires d'appartements ;
- les propriétaires non-occupants ou copropriétaires ;
- les risques professionnels (agricoles, industriels, autres risques professionnels).

Les variables d'aléa prises en compte pour l'estimation de la probabilité de sinistre sont les suivantes :

- la hauteur de débordement ;
- le débit de ruissellement.

Quand il s'agit d'un appartement dont on ne connaît pas l'étage, on utilise également la proportion de risques situés en rez-de-chaussée dans la commune, estimée à partir de données de l'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE).

La probabilité de sinistre est calibrée sur les données des événements de catastrophes naturelles survenus sur la période 1999-2008.

#### 2.2.3.3. Estimation du coût en cas de sinistre

Pour l'estimation du coût en cas de sinistre, on traite à nouveau à part les risques situés dans la zone de ruissellement et les risques situés dans la zone de débordement.

L'estimation du coût en cas de sinistre se fait par l'application de taux de destruction estimés aux valeurs assurées de chacun des risques du portefeuille.

Les variables prises en compte pour l'estimation du taux de destruction sont les suivantes :

- en zone de ruissellement :
  - type de risques ;
  - valeurs assurées ;
  - débit de ruissellement ;
- en zone de débordement :
  - type de risques ;
  - valeurs assurées ;
  - hauteur de débordement.

Les courbes de dommages permettant de passer de l'intensité de l'aléa au taux de destruction ont été calibrées à partir des données des sinistres de catastrophes naturelles survenus sur la période 1999-2008. À chacune des valeurs d'aléa (débit de ruissellement ou hauteur de débordement) et pour chaque type de risques, un taux de destruction spécifique est associé.

### 2.3. Résultats du modèle déterministe

L'application du modèle risque par risque permet *in fine* de disposer d'une estimation du coût de l'événement dans son ensemble ou pour un zone donnée, pour le marché de l'assurance dans son ensemble, pour CCR ou pour une entreprise d'assurance. La distribution des erreurs observées sur des événements passés permet d'encadrer les résultats de simulation sous forme d'intervalles de confiance.

Le tableau suivant présente quelques résultats de simulation d'événements passés.

**Résultats de simulation d'évènements passés**

*En milliards d'euros*

| | Coût réel | Coût simulé | |
|---|---|---|---|
| | | 10e centile | 90e centile |
| Aude (novembre 1999) | 310 | 277 | 416 |
| Gard (septembre 2002) | 680 | 361 | 555 |
| Sud-Est (décembre 2003) | 820 | 516 | 913 |
| Gard (septembre 2005) | 90 | 174 | 277 |
| Centre-Est (novembre 2008) | 160 | 127 | 166 |

*Source* : CCR.

### 2.4. Exemples d'application du modèle déterministe

La première application du modèle déterministe est l'estimation de l'impact d'un événement quelques jours après sa survenance. Ceci a un intérêt particulier pour provisionner les sinistres d'inondation lors de l'arrêté des comptes ou lors des prévisions de résultat intermédiaires, en particulier quand l'événement survient peu de temps avant une de ces échéances et ne permet donc pas d'avoir des remontées d'informations *via* les équipes sinistres des assureurs ou *via* la comptabilité.

Une deuxième application est l'utilisation du modèle pour estimer l'impact d'un scénario historique, y compris antérieur à 1982, comme l'inondation de Paris en 1910, ou d'un scénario de référence. Ceci peut être particulièrement utile dans le cadre des études de solvabilité où l'on souhaite tester l'impact de stress scénarios sur le résultat et le bilan de l'entreprise.

## 3. Modélisation probabiliste

La modélisation probabiliste de l'inondation a été développée en tant qu'extension du modèle déterministe. Le calibrage de l'aléa et des dommages s'appuie sur les mêmes données. Le modèle probabiliste repose sur un catalogue comportant un grand nombre d'événements possibles non encore observés. Deux filières ont été mises en place : une filière reposant uniquement sur le débordement des cours d'eau et une filière issue d'un générateur de pluies fictives permettant de simuler l'aléa complet : pluie, ruissellement, débordement.

### 3.1. Filière de débordement seul

Un catalogue d'événements probables a été construit à partir de l'analyse et de la modélisation des données de débits maximaux mensuels disponibles au sein de la banque Hydro.

Pour ce faire la théorie des copules a été utilisée. Dans ce cadre, le théorème de Sklar (1959), nous indique qu'une loi multivariée est caractérisée dès lors que l'on connaît :

- chacune des lois marginales ;
- la relation de dépendance entre les variables définies par la copule.

Ce théorème nous permet donc de travailler séparément sur les lois marginales et la dépendance entre les variables.

Ainsi pour chaque station hydrométrique de la banque Hydro disposant d'au moins 30 ans d'historique, et pour chaque mois de l'année, la loi marginale est calée sur les observations historiques. La structure de dépendance entre stations hydrométriques et entre mois de l'année a été modélisée à partir d'une copule gaussienne (Quantin, 2011).

Un catalogue d'environ 18 000 inondations fictives par débordement a ainsi été construit en générant 1 000 années fictives de débits pour la France. Chaque événement est simulé en utilisant une version distribuée du modèle déterministe et se voit affecté une probabilité annuelle de survenance de 1/1 000.

### 3.2. Modélisation probabiliste à partir de la génération de pluies

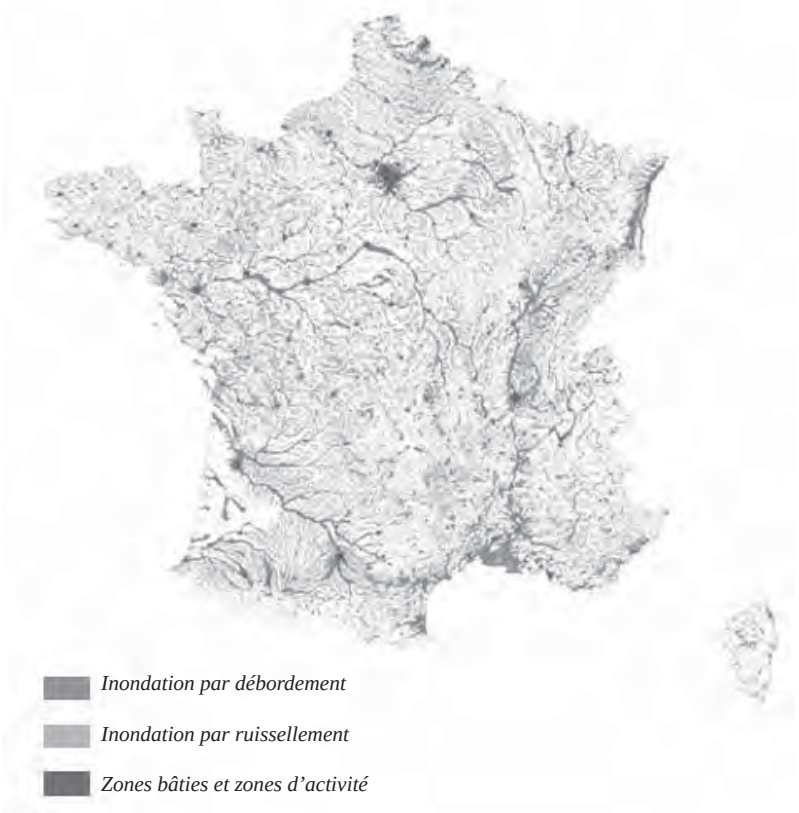
CCR utilise un extrait de la base de données historique de réanalyse des champs de surface SAFRAN de Météo France (Durand et *al*., 1993). Il s'agit des pluies journalières et horaires sur un maillage de 8 x 8 km sur la période 1958-2011. À partir de ces données, un générateur spatial et temporel de précipitations, développé au sein de l'IRSTEA à Lyon (Lepioufle et *al*., 2012, Leblois et Creutin, 2013 et Leblois et *al*., 2013), est calibré afin de constituer un catalogue d'événements de précipitations fictives et de les simuler à l'aide du modèle d'aléa déterministe décrit précédemment (Moncoulon et Quantin, 2013). L'intérêt de cette approche qui s'appuie sur une modélisation hydrologique complète du débordement à partir de précipitations fictives est de pouvoir prendre en compte certains cours d'eau non renseignés par la banque Hydro ou ne disposant pas d'un historique exploitable suffisant.

Pour des contraintes de temps de calcul, le nombre d'années de pluviométrie fictives est limité à 300 ; ce qui permet d'aboutir à un catalogue d'environ 10 000 inondations fictives par débordement et ruissellement. Chaque événement se voit affecté une probabilité annuelle de survenance de 1/300.

### 3.3. Résultats du modèle probabiliste

La simulation de l'aléa sur les catalogues d'événements de débordement seul ou de débordement et ruissellement permet d'aboutir à une cartographie probabiliste de l'aléa inondation en France telle que présentée sur la carte 3 (Moucoulou, 2013).

**3. Cartographie probabiliste de l'aléa inondation en France**




*Source* : CCR.

Le modèle de dommages, utilisé sur les catalogues d'événements permet d'estimer la distribution des pertes par événement ou par an au titre du régime des catastrophes naturelles pour le marché français de l'assurance, CCR ou une entreprise d'assurance donnée.

## 3.4. Applications du modèle probabiliste

Ces résultats sont utilisés pour mesurer l'exposition financière de l'État, de CCR et des entreprises d'assurance aux inondations, en estimant par exemple pour chaque entité l'espérance annuelle de pertes ou la perte deux-centennale, c'est-à-dire la perte ayant chaque année une probabilité de 1/200 d'être atteinte ou dépassée.

En dehors du domaine assurantiel, ce type d'outils pourrait également servir pour des analyses coûts-bénéfices ou pour les études préalables du risque inondation dans le cadre d'actions de prévention : il permettrait, par exemple, de chiffrer la réduction attendue en termes de dommages assurés suite à la construction d'une digue.

### 3.5. Limites de la modélisation et perspectives d'amélioration

Malgré les avancées très significatives obtenues sur la modélisation des inondations, il subsiste un certain nombre de limites qu'il serait intéressant d'approfondir dans des travaux ultérieurs. On peut notamment citer les points suivants :

- le catalogue ne contient pas encore suffisamment d'événements pour prétendre avoir une vision exhaustive de l'inondation en France ;
- la profondeur historique des données de débits et de pluviométrie reste insuffisante : l'exploitation de données historiques pourrait pallier cette limite ;
- dans l'attente d'une base sur les digues complète, le recensement des ouvrages de protection n'est que partiel ;
- la modélisation probabiliste des submersions marines n'est pas intégrée à ce jour dans le catalogue d'événements possibles ;
- les facteurs aggravants (remontées de nappes) ne sont pas pris en compte ;
- la précision de certaines données doit être améliorée : un MNT de haute résolution permettrait de mieux appréhender l'exposition des territoires à enjeux ;
- la précision du géocodage des risques assurés peut s'améliorer, afin d'avoir une localisation plus précise des valeurs assurées ;
- l'estimation des valeurs assurées, souvent non renseignées dans les systèmes informatiques des assureurs, est encore trop hétérogène.

## 4. Conclusions

Devant ces avancées en termes de modélisation, on peut se poser la question de savoir si l'ensemble des éléments explicatifs peut être pris en compte et anticipé.

Les événements catastrophiques subis ces dernières années en France ou dans le monde mettent en lumière de nouveaux axes de recherche, tels que :

- l'existence de corrélations entre événements extrêmes ;
- l'impact possible du changement climatique ;
- la dynamique des concentrations de valeurs en zones à risques, pouvant aboutir à des dommages toujours plus importants.

Bien que les pertes liées aux inondations soient *a priori* bornées, ces questions encore ouvertes accentuent l'incertitude sur l'estimation des dommages actuels et futurs pour des événements extrêmes. On peut citer en particulier les incertitudes sur les dommages aux risques industriels : en cas d'arrêt prolongé de l'activité suite à une inondation, les dommages de pertes d'exploitation peuvent atteindre des montants très importants. De même, il

est à l'heure actuelle difficile d'estimer des phénomènes comme l'inflation post-événement (appelée « *demand surge* » par les Anglo-Saxons) qui peut aggraver le coût des événements déjà très importants.

Contrairement à d'autres pays où la couverture du péril inondation peut soit être exclue, soit être très onéreuse dans les zones exposées, le régime Cat Nat a permis à chacun d'être assuré pour un prix limité contre les effets des inondations et plus généralement des catastrophes naturelles grâce à la mutualisation du risque.

Cette mutualisation se fait aujourd'hui par la solidarité nationale par le biais d'une surprime unique.

Malgré les incertitudes évoquées, les travaux présentés ici peuvent aider à mettre en place un dispositif de modulation, pour certains risques, de la surprime catastrophes naturelles en fonction de l'exposition, dans un cadre réglementé nécessaire pour préserver le principe de solidarité. C'est un des axes discutés dans le cadre d'une future réforme du régime des catastrophes naturelles.

## Références bibliographiques


Durand Y., E. Brun, L. Merindol, G. Guyomarc'h, B. Lesaffre et E. Martin (1993) : "A Meteorological Estimation of Relevant Parameters for Snow Schemes Used with Atmospheric Models", *Annals of Glaciology*, n° 18, pp. 65-71.

Leblois E. et J-D. Creutin (2013) : « Space-Time Simulation of Intermittent Rainfall with Prescribed Advection Field: Adaptation of the Turning Band Method », *Water Resources Research*, n° DOI: 10.1002/wra-2019.

Leblois E., J-D. Creutin, A-L. Jeanpierre, B. Renard et I. Braud (2013) : *Rainfall Typology and Rainfall Types Sequence Modelling for Climatological Simulation of Spatial Rainfall*, Mimeo.

Lepioufle J-M., E. Leblois et J-D. Creutin (2012) : « Variography of Rainfall Accumulation in Presence of Advection », *Journal of Hydrology*, vol. 464-465, pp. 494-504.

Moncoulon D. (2013) : *Analyse de l'exposition financière des assureurs au risque inondation en France. Approche multi-périls : ruissellement et débordement*, Thèse en cours.

Moncoulon D. et A. Quantin (2013) : « Modélisation des événements extrêmes d'inondation en France métropolitaine », *La Houille Blanche*, n° 1, pp. 22-26.

Quantin A. (2011) : *Modélisation du péril inondation : passage d'une approche déterministe à une approche probabiliste en vue d'une tarification à l'exposition des couvertures de réassurance dans le cadre du régime des catastrophes naturelles*, Rapport confidentiel, Mémoire d'actuaire, Centre d'Études Actuarielles, 164 p.

Sklar A. (1959) : « Fonctions de répartition à n dimensions et leurs marges », *Publications de l'Institut de Statistique de Paris*, n° 8, pp. 229-231.

Complément B

# La responsabilité pénale à l'épreuve des « accidents collectifs »

**Valérie Sanseverino-Godfrin**

*Mines-Paristech, Centre de recherches sur les risques et les crises (CRC)*

Les règles de responsabilité civile applicables aux risques majeurs constituent une problématique maintes fois abordée dans les études juridiques consacrées à ce type de risque et la partie du rapport relative aux risques technologiques majeurs témoigne du rôle que ces règles jouent dans les dispositifs d'indemnisation et d'assurance. Mais, il est également intéressant de se pencher sur les questions de responsabilité pénale, ce que fera ce complément. Pour faire référence aux situations de survenance de risque majeur, nous utiliserons la terminologie d'« accidents collectifs », qui fait référence à des accidents de grande ampleur, au regard du nombre de victimes (sériels, de masse) et/ou du montant des dommages et mettant en cause une pluralité d'acteurs (Melloni, 2010).

Les attentes de la société contemporaine suite à un accident collectif ont évolué. En témoignent les récentes condamnations pénales intervenues en France, mais aussi en Italie, de dirigeants de société et de scientifiques (cour d'appel de Toulouse 24 septembre 2012, explosion d'AZF ; cour d'assises de Turin 15 avril 2011, affaire Thyssenkrupp ; cour d'assises de Milan, 13 février 2012, affaire Eternit ; tribunal d'Aquila, 22 octobre 2012, séisme de l'Aquila). La scène judiciaire est devenue un lieu de débat incontournable entre d'un côté, les victimes, profanes par nature voire ignorantes des risques auxquels elles sont exposées, centre de l'attention à la fois médiatique et judiciaire[1] et de l'autre côté, les représentants de la technique, de

(1) La terminologie a d'ailleurs évolué : les spécialistes du droit des victimes ne parlent plus de la « réparation du dommage ou du préjudice de la victime » mais de la « réparation de la victime ». La « reconstruction » de celle-ci passe par la reconnaissance de la faute de l'auteur. Or, la fonction d'indemnisation des actions au civil ou contre un fonds d'indemnisation ne permet pas de répondre au travail de reconstruction que la victime attribue au procès (*cf.* Pin, 2006, p. 52).

la technologie, de la décision, les « sachant » qui ont failli et mis en danger les personnes. La saisine des juridictions pénales est symptomatique des attentes des victimes vis-à-vis de la justice, au regard des évolutions de la responsabilité civile depuis la fin du XIX[e] siècle, qui lui a fait perdre toute connotation morale. En effet, la fonction première de la responsabilité civile n'est plus de moraliser les comportements, mais d'indemniser les victimes, *a fortiori* avec l'intervention de l'assurance qui assume cette charge financière. En revanche, la justice pénale apparaît comme « réparatrice » de l'outrage subi, les victimes pouvant exprimer publiquement leurs souffrances et leurs plaintes et « corrective » des comportements déviants (Villey, 1977), en sanctionnant, au nom de la société, la personne qui a manqué à ses obligations en matière de sécurité et pris des risques. Au niveau procédural, la justice pénale allège les victimes de la charge de la preuve, puisqu'une enquête est menée sous la direction d'un magistrat instructeur, disposant du pouvoir d'obtenir tous les éléments de preuve et de diligenter des expertises, afin de reconstituer le puzzle des faits ayant concouru à la réalisation du dommage. Par l'intermédiaire de la voie pénale, les victimes reçoivent « une narration intelligible et acceptable de ce qui s'est passé »[(2)].

Dans le cas d'un accident collectif, le ou les comportements incriminés relèvent le plus souvent de l'article 121-3 du Code pénal, sanctionnant les fautes non intentionnelles : même si l'auteur de l'infraction a eu un comportement volontairement, « délibérément » imprudent, négligent ou s'il n'a pas respecté les obligations de sécurité ou de prudence imposées par la loi ou le règlement, son intention n'est pas pour autant de causer un dommage.

En dépit de l'évolution des risques et du caractère particulier des accidents collectifs qui pourraient être qualifiés de « délits à grande échelle » (Calais-Auloy, 1994, p. 381), les règles de la responsabilité pénale sont restées quelque peu les mêmes. La problématique de l'évolution du droit au regard des accidents collectifs, des catastrophes n'est certes pas nouvelle (Lienhard, 1995, p. 91). Elle invite néanmoins à se questionner encore, compte tenu de l'évolution du droit et notamment de la jurisprudence. Sans avoir l'ambition de dresser une analyse exhaustive de la responsabilité dans le droit français, ces développements visent à montrer que la responsabilité pénale peine encore à appréhender la réalité d'un accident collectif dans toute sa complexité, du fait des biais de la voie judiciaire, même si des éléments d'évolution sont à notre sens perceptibles et témoignent d'une adaptation, certes encore timide, du droit de la responsabilité.

(2) *Cf*. Ricoeur (1999) à propos du procès du sang contaminé. En effet, les victimes veulent aussi savoir et comprendre, afin que la décision de justice ait une vertu pédagogique.

## 1. Les biais de la voie judiciaire dans l'analyse d'un accident collectif

Comprendre ce qui a causé un accident implique de réaliser une enquête, afin de procéder à une collecte organisée et minutieuse d'éléments factuels, à leur analyse et d'établir le plus précisément possible l'ensemble des causes et des circonstances de l'accident. L'enquête judiciaire se déroule selon une méthodologie propre au domaine juridique et dans bien des cas, pour reconstituer le puzzle du déroulement des événements, s'appuie, sur des expertises qui vont conditionner la connaissance des faits. De plus, les éléments retenus à l'issue de l'enquête judiciaire seront analysés au prisme de la responsabilité, institution juridique, héritée du droit élaboré par les canonistes, avant tout pour moraliser les conduites individuelles (Viney, 1977, p. 5) et reposant fondamentalement sur la responsabilité personnelle et sur la faute.

### 1.1. Une expertise conditionnant la connaissance des faits

Le juge d'instruction menant l'enquête a pour mission de procéder à tous les actes d'information qu'il juge utiles, « afin d'établir la vérité »[(3)]. Pour faire émerger cette vérité et parce qu'il est confronté à des éléments techniques qu'il ne connaît, ni ne maîtrise, le magistrat recourt à une aide extérieure, l'expert, de manière à pouvoir décrypter les causes et les circonstances d'un accident.

L'expert est lié par la mission qui lui est confiée. En effet, lorsque l'expert intervient dans la procédure judiciaire, nommé à l'initiative du juge, du ministère public ou encore à la demande des parties[(4)], il est considéré comme un auxiliaire du juge d'instruction dans la recherche de preuves. Il doit éclairer le juge sur des points de fait pour lesquels il est missionné. Le travail de l'expert est donc conditionné par le juge : il est cantonné à l'analyse des éléments factuels qui lui sont soumis, ce qui par voie de conséquence influence les résultats de l'expertise. Or, le magistrat, étant ignorant dans le domaine dans lequel il fait appel à un expert, peut passer à côté de questionnements essentiels pour la compréhension des faits, en lui définissant sa mission.

Une fois l'expertise effectuée, le juge doit « dire le droit » (de Belval et Rolland, 2006, p. 295), au regard des éléments contenus dans cette expertise, qui vont lui permettre d'en déduire ou non la responsabilité des personnes impliquées dans un accident (Steinlé-Feuerbach, 2006, p. 286). Mais, l'expertise influence la décision de justice. Celle-ci peut donc en être particulièrement tributaire, *a fortiori* en ce qui concerne l'analyse d'un accident collectif, événement complexe où de multiples causes s'enchevêtrent. Cette dépendance de la justice vis-à-vis de l'expertise pose plusieurs problèmes.

(3) Article 81 du Code de procédure pénale.

(4) Article 156 du même code.

Le magistrat n'est pas toujours en mesure d'avoir une analyse critique de l'expertise qui lui est remise et pourra avoir tendance à la considérer comme relatant avec fidélité la réalité de ce qui s'est passé (du moins au regard des questions que s'est posées le magistrat). Cela dit, l'expertise n'est pas infaillible : elle ne permet pas toujours d'identifier de manière certaine les causes d'un accident(5). Par ailleurs, le nombre d'experts spécialisés dans un domaine peut être limité. Plus la question est technique, moins le nombre d'experts compétents dans le domaine est important. Dès lors, se pose la question de l'indépendance des experts, ceux-ci pouvant être liés, compte tenu du peu de personnes évoluant dans des domaines extrêmement techniques, à une des personnes impliquées dans un accident (Steinlé-Feuerbach, 2006, p. 285).

Un autre biais entache la reconstitution des faits. Par crainte d'être elles-mêmes mises en cause, les différentes personnes appelées à témoigner ont tendance à ne pas parler ouvertement et à relater l'intégralité des éléments dont elles ont connaissance, alors que l'on attendrait d'elles, au contraire, qu'elles puissent rendre compte le plus exactement possible de ce qui s'est passé. Cette peur de la sanction freine l'établissement de la vérité. Decrop (2003) remarque ainsi que « l'irruption de la justice (…) dans la perspective de la punition des fautes, provoque immédiatement des phénomènes de rétention au niveau individuel et collectif, chacun cherchant à se protéger et à protéger ses collègues et son entreprise ». La problématique n'est pas uniquement française, puisqu'au cours de l'enquête technique menée suite à l'explosion de la plate-forme de Deep Water Horizon, deux opérateurs de la plate-forme ont refusé de témoigner, en invoquant le cinquième amendement de la Constitution des États-Unis qui prévoit le droit de ne pas témoigner contre soi-même(6).

Découle de l'expertise, des témoignages et des conclusions que va en tirer le juge d'instruction, une version des faits ayant conduit à la survenance d'un accident. Toutefois, en raison des biais évoqués, la version établie n'est pas une vérité absolue : le juge d'instruction va faire émerger de la réalité des faits, une vérité judiciaire, une réalité au prisme du droit, d'autant plus que le traitement judiciaire de l'accident sous-tendu par la recherche de responsabilité, influence l'appréciation des faits.

(5) Par exemple, le crash du Mont Sainte-Odile, accident pour lequel à l'issue de quatorze ans de procédure, au cours desquels sept experts se sont succédé, il n'a pu être apporté de réponse scientifique claire sur les causes de l'accident.

(6) *Cf.* Hoyle (2011), cet enquêteur propose d'ailleurs de découpler les investigations techniques et judiciaires, de manière à faire en sorte que les analyses effectuées lors de l'enquête technique, voire les éléments recueillis, ne soient pas systématiquement récupérées à des fins judiciaires.

## 1.2. Une lecture des faits au prisme de la responsabilité

Le traitement judiciaire conduit à procéder à une analyse des faits ayant un lien avec l'accident au prisme d'une grille de lecture juridique. Cette grille de lecture repose sur un triptyque classique de la responsabilité, qu'il s'agisse d'ailleurs de la responsabilité civile, administrative ou pénale, impliquant la réunion de trois éléments : un dommage, une faute[7], qui, dans le cas qui nous intéresse, sera une faute pénale non intentionnelle, un lien de causalité entre la faute et le dommage. Les deux derniers éléments de ce triptyque appellent un certain nombre de remarques s'agissant des accidents collectifs et de la responsabilité pénale.

La grille de lecture est constituée par les différentes normes de comportement déterminées par le droit, qui indiquent ce qu'il est interdit de faire, ce qui est autorisé, ce qui doit être fait. Mais, comme le remarque Decrop (2003), cette grille d'analyse juridique dessine un modèle de société idéale, reposant sur un ensemble de règlements et de procédures en vertu desquels la sécurité est censée être assurée et les situations à risque parfaitement maîtrisées : ce modèle de société s'avère être une « fiction », car la réalité, le fonctionnement réel d'une société ne correspond pas au modèle (*op.cit*). En effet, les professionnels de la gestion de la sécurité considèrent que le fonctionnement d'un système complexe comporte de manière endogène, « normale », des défaillances techniques, humaines, organisationnelles (par exemple, malentendu dans l'interprétation des informations, routines non adaptées aux circonstances), qui sont le plus souvent rattrapées et maîtrisées. Sous cet angle d'approche, l'accident est considéré comme résultant majoritairement d'un dysfonctionnement du système, d'une succession de défaillances, voire d'erreurs mais rarement d'une faute (Ewald, 1992, p. 21). L'accident peut même être considéré comme « normal », inévitable, plus particulièrement dans des organisations mettant en œuvre des technologies à hauts risques, qui se caractérisent par un potentiel catastrophique et des mécanismes endogènes de production des accidents majeurs[8].

Néanmoins, les magistrats vont retenir et examiner les causes de l'accident au crible d'une grille de lecture, partielle voire partiale, car fondée uniquement sur l'infraction, c'est-à-dire sur une appréciation des faits au regard des normes de conduite. La cause du dommage, sur le plan pénal est ainsi seulement envisagée sous l'angle de la faute, qualifiée d'écart de procédure, de violation d'une obligation de sécurité, de prévention, de diligence mais aussi d'absence de diligences normales (omission, abstention, carence). Les interventions pour minimiser les risques seront appréciées sur un plan pénal à l'aune du comportement de la personne en charge d'assurer la sécurité et de sa connaissance du risque : sa responsabilité pénale sera envisagée en cas d'absence de mesure de prévention ou dès lors que ces mesures ont été insuffisantes ou défaillantes, dans les situations où le risque était connu et impliquait d'agir. C'est donc une analyse au regard de ces comportements

(7) Hors les régimes de responsabilité objective, sans faute.

(8) *Cf.* la notion de « normal accident » de Perrow (1984).

qui amènera à retenir ou non les facteurs considérés comme ayant conduit à la réalisation du dommage. Analysé au prisme de la responsabilité pénale, l'accident est le révélateur de comportements déviants, générateurs de risque, en situation latente derrière les routines de travail (Decrop, 2003) et sur lesquels les magistrats vont porter un jugement au regard de ce qui devait ou aurait dû être fait.

L'angle juridique de la recherche de la vérité influe également sur la manière d'apprécier la relation causale entre le dommage et les divers éléments ayant contribué à sa survenance. Dans le domaine de la sécurité, l'enquête dite « technique » a pour finalité d'identifier l'ensemble des facteurs, techniques, humains et organisationnels, les défaillances de gouvernance et d'analyser leurs relations causales, en s'appuyant sur des modèles de causalité permettant d'établir les liens directs et indirects, immédiats et lointains de l'ensemble des causes de l'accident, de manière à pouvoir reconstituer précisément ce qui s'est passé. Or, le juge procède en suivant une logique binaire (respect/violation de la norme) et en établissant des relations causales simples. Le juge pénal ne retient pas toutes les causes du dommage, puisque seuls l'intéressent les faits constituant des fautes. De plus, il détermine à quelles conditions il retient une faute comme cause juridique du dommage. Pour ce faire, il suit, d'une part, les dogmes énoncés dans le domaine juridique pour apprécier le rapport causal et d'autre part, il est fortement influencé par une approche déterministe de la causalité. Il s'agit pour le magistrat de répondre aux questions suivantes : qui ou qu'est- ce qui a causé le dommage ? Qui ou qu'est-ce qui a contribué à la réalisation du dommage ? Qui est en charge d'assurer la sécurité ? Quel a été le comportement de cette(ces) personne(s) ? S'il est amené à tenir compte d'éléments étrangers à l'enchaînement des causes et des effets, le magistrat ne retiendra néanmoins parmi les causes, que certaines fautes, en lien le plus direct avec le dommage ou les plus graves, comme le précise l'article 121-3 du Code pénal, dans sa rédaction issue de la loi n° 2000-647 du 10 juillet 2000. En effet, le Code pénal implique de faire une lecture discriminante des fautes commises par une personne physique(9), au regard de leur lien de causalité avec le dommage. Lorsqu'un accident est lié à de multiples causes, qu'elles soient ou non simultanées, les magistrats vont engager la responsabilité pénale, seulement après avoir opéré une classification entre les causes directes et les causes indirectes du dommage. Toutes les fautes, ayant un lien direct avec le dommage, quelle que soit la gravité de ces fautes, donneront lieu à une sanction pénale de leur auteur. En revanche, seules seront sanctionnées les fautes indirectes répondant aux critères de gravité posés par l'article 121-3 du Code pénal : un manquement grave à une obligation de prudence ou de sécurité imposée par la loi ou le règlement ou une faute d'une exceptionnelle gravité(10).

(9) *Cf. infra* l'appréciation différente de la causalité concernant les personnes morales.

(10) S'agissant des dommages causés par les catastrophes naturelles, la cause directe du dommage étant toujours l'élément naturel, la responsabilité des personnes en charge de la sécurité ne sera engagée, qu'en cas de faute répondant aux critères de gravité posés par l'article 121-3 du Code pénal, du fait de la relation causale indirecte entre leur comportement et la survenance du dommage.

L'article 121-3 du Code pénal a donc pour conséquence de se concentrer essentiellement sur les causes déterminantes d'un accident. La lecture juridique de la réalité n'offre ainsi qu'une traduction parcellaire de la vérité d'un événement (Decrop, 2003), le système étudié et sa complexité étant réduits et simplifiés à un ensemble de faits et de comportements interagissant selon des causalités linéaires, « monodimensionnelles » (Rocca, 2011). Les règles de responsabilité conduisent en définitive à sanctionner le plus souvent, deux catégories de personnes, qui ne sont pas forcément les seules à avoir contribué à la réalisation du dommage : l'opérateur en bout de chaîne qui effectue la manipulation à l'origine de l'accident ou la personne qui aura pris une décision déterminante dans la réalisation de l'accident. Dans la chaîne des actions et des décisions, les personnes « médianes » échappent à la sanction.

La voie pénale et les modalités d'appréciation de la faute en cas d'infraction montrent une certaine inadéquation avec les spécificités des accidents collectifs. Cependant, des évolutions parcourent le droit : elles peuvent être envisagées comme des prémices permettant de mieux appréhender sur le plan juridique ce type d'accidents.

## 2. Des prémices d'évolution du droit au regard des accidents collectifs ?

Le dispositif juridique semble faire l'objet d'évolutions qui pourraient permettre de tenir compte de la particularité des accidents collectifs et de faire évoluer l'appréciation de la responsabilité qui en découle. D'un point de vue procédural, cette particularité a été en partie reconnue avec la mise en place d'une organisation pénale spécifique. De plus, des évolutions jurisprudentielles sont susceptibles de changer l'appréciation de la responsabilité, concernant les accidents collectifs. D'une part, a émergé la notion d'organisation permettant de souligner les dysfonctionnements en son sein, d'autre part, les magistrats ont de plus en plus tendance à faire remonter la responsabilité pénale au niveau de la personne morale, mettant l'accent sur le fait qu'un dommage peut être le fruit d'une décision, d'une action collectives.

### 2.1. Une prise en compte des particularités d'un accident collectif au niveau procédural

La loi n° 2011-1862 du 13 décembre 2011 a introduit un nouveau titre dans le Code de procédure pénale intitulé « De la procédure applicable en cas d'accident collectif » à travers lequel est prévue la mise en place de « pôles » pour le traitement judiciaire de ce type d'accident[11]. Le légis-

(11) La création de ces « pôles » judiciaires en cas d'accident collectif permettra peut-être à l'avenir d'éviter une condamnation de l'État du fait de la lenteur à rendre une décision de justice, sur la base de l'article 6 §1 de la Convention européenne des droits de l'homme, qui garantit une procédure équitable rendue dans un délai raisonnable. *Cf.* cass. civ. 1re, 25 mars 2009, n° 07-17.575 et 07-17.576 concernant l'explosion et l'incendie du port pétrolier de Lyon, 2 juin 1987. La Cour de cassation a estimé que, malgré les difficultés de traitement

lateur n'a pas défini la notion d'accident collectif qui pourtant détermine la procédure particulière. Ce sont les critères énoncés à l'article 706-176 du Code de procédure pénale qui indiquent dans quelles situations cette procédure est mise en œuvre. Cependant, ces critères sont très vagues. En effet, la compétence territoriale du tribunal de grande instance pour l'enquête, la poursuite, l'instruction et le jugement, est étendue au ressort d'une ou de plusieurs cours d'appel dans les affaires qui comportent une pluralité de victimes, sont ou apparaîtraient d'une grande complexité et pour les infractions déterminées limitativement par la loi (délits non intentionnels et infractions connexes). C'est donc en fonction des particularités d'un accident que sera décidé de l'opportunité de faire appel aux règles de procédures spécifiques. Il revient au procureur général et au premier président de la cour d'appel, après avis du procureur de la République et du président du tribunal de grande instance qui sera chargé du traitement judiciaire de l'affaire, de désigner les magistrats du parquet et les magistrats du siège chargés de l'enquête, de la poursuite, de l'instruction et du jugement, ainsi que les magistrats de la cour d'appel[12]. De plus, les magistrats et le procureur général près la cour d'appel compétente peuvent demander l'aide d'assistants spécialisés, pour assister les juges d'instruction dans les actes d'information, les magistrats du ministère public dans l'exercice de l'action publique et les officiers de police judiciaire agissant sur délégation des magistrats. Ils doivent également remettre aux magistrats des documents de synthèse ou d'analyse qui peuvent être versés au dossier de la procédure. Ils ont également la charge de mettre en œuvre le droit de communication reconnu aux magistrats[13].

Cette évolution procédurale constitue une première avancée, mais ne change pas pour autant la manière d'apprécier la responsabilité. Cela dit, certaines décisions de justice montrent qu'une nouvelle notion est en train d'émerger, l'organisation, qui peut avoir une incidence en termes de responsabilité.

### 2.2. L'émergence d'une nouvelle notion juridique, l'organisation ?

Comme nous l'avons vu, les règles de droit établissent des normes de comportement et des cadres d'action, définissant un modèle de fonctionnement et de société. Ces modèles ont servi de fondement pour établir les règles de responsabilité, notamment au sein d'organisations qui sont supposées être structurées selon une hiérarchie pyramidale. Ainsi, l'employeur

judiciaires de ce type d'affaire, le délai écoulé était manifestement excessif. En revanche, concernant l'accident du Mont Sainte-Odile, la Cour de cassation a refusé de reconnaître la responsabilité de l'État pour fonctionnement défectueux du service de la justice, alors que la procédure a duré seize ans, au motif qu'à aucun moment, la procédure pénale n'est restée en souffrance sans qu'aucune diligence ne soit accomplie (Cass. civ. 1re, 23 février 2011, n° 09-71.164).

(12) Article 706-177 du Code de procédure pénale.

(13) Article 706-181 du Code de procédure pénale.

comme l'exploitant d'une activité ou encore le maire sont par nature responsables, car ils sont investis de la charge d'assurer le bon fonctionnement de l'organisation qu'il dirige (édiction de règles, contrôle de leur mise en œuvre, organisation du travail) ; toutes les autres composantes sont censées fonctionner comme des démultiplications assujetties à leur autorité, de sorte que cette organisation est censée produire des conséquences prévisibles (Thoenig, 2012, p. 10). Cependant, cette conception se heurte à la réalité des faits : la structure hiérarchique ne repose pas toujours sur un modèle pyramidal ; l'autorité responsable n'est pas toujours en mesure de tout contrôler, ni n'est en mesure d'édicter des règles d'action ; son contrôle peut être restreint du fait même de la difficulté d'exercer ce contrôle…

Dans ce contexte au sein duquel la personne ou l'organe hiérarchique ne détient pas effectivement l'autorité, ni ne constitue le barycentre des décisions, une action est très souvent le fruit d'une dynamique d'ensemble. Les accidents collectifs s'inscrivent dans ce modèle organisationnel : ils sont la résultante de dynamiques engendrant des dysfonctionnements au sein d'une organisation et sont rarement le fait d'un individu isolé. Ils posent la question de l'imputation de la responsabilité entre l'individu et l'institution. Cette question de l'imputation se pose avec d'autant plus d'acuité que les modes de gouvernance sont en pleine mutation(14), avec des mécanismes de concertation associant de plus en plus la population, par exemple dans les procédures en matière d'environnement(15). De plus, des travaux contemporains de la sociologie des organisations montrent que les dynamiques d'action dépassent les frontières des organisations formelles, pour se situer maintenant au sein de réseaux d'institutions, d'entreprises fonctionnellement éclatées et multi-localisées, ce qui rend insaisissable le point d'origine de décisions (Cragues et Paradeise, 2012, p. 2). Ces cadres d'actions comportant un nombre important d'acteurs publics et privés s'accommodent mal des règles de responsabilité n'identifiant que l'individu ou une institution « mono-céphale » (Rocca, 2011). Or, la responsabilité, destinée à l'origine à sanctionner les comportements individuels déviants par rapport à une norme de comportement, n'a pas été conçue pour appréhender les problématiques de groupes (entreprise, association, collectivité publique…). Le droit se trouve donc confronté aux mécanismes de dilution de responsabilité au sein d'une entité, voire à l'impossibilité d'identifier précisément l'origine d'une décision, d'une action dommageable.

(14) *Cf.* l'article L 110-1 du Code de l'environnement qui consacre le principe de participation du public.

(15) *Cf.* la convention internationale d'Aarhus du 28 janvier 2002 transposée dans le décret 12 septembre 2002 (Journal Officiel, 21 septembre 2002) ; la directive communautaire du 28 janvier 2003 concernant l'accès du public à l'information en matière d'environnement, transposée dans le droit français par la loi du 26 octobre 2005 portant diverses dispositions d'adaptation au droit communautaire dans le domaine de l'environnement (Journal officiel, 27 octobre 2005).

Une timide évolution juridique semble néanmoins se dessiner. Quelques décisions de justice, plus particulièrement dans le domaine du droit du travail, montrent que les magistrats commencent à prendre en considération la notion d'organisation et ses dysfonctionnements. Pour déterminer qui est responsable dans les situations d'emploi de salariés au sein de réseaux d'entreprises où l'employeur nominal n'est pas l'utilisateur de la main d'œuvre, les magistrats s'appuient sur le concept d'unité économique et sociale pour rendre compte de la réalité de l'organisation économique et sociale de l'entreprise et de son appartenance à un « réseau » (Morin, 2012, p. 37). Parallèlement, dans le domaine de la santé et de la sécurité au travail, les magistrats reconnaissent que la situation de risque pour les salariés peut ne plus provenir seulement du poste de travail, mais aussi de l'organisation de l'entreprise dans son ensemble. Ainsi, la Cour de cassation, dans l'arrêt dit « SNECMA », a-t-elle estimé que la nouvelle organisation des tâches au sein de l'entreprise « était de nature à compromettre la santé et la sécurité des travailleurs concernés »(16). La même cour a validé le fait pour un Comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail (CHSCT) de recourir à une tierce expertise, en raison d'un risque identifié pour les salariés, en soulignant le lien entre les modifications profondes dans l'organisation de l'entreprise et la dégradation de la santé des salariés(17).

À noter qu'en vertu d'une jurisprudence classique concernant la faute de service, la responsabilité administrative a depuis longtemps intégré la problématique du dysfonctionnement au sein d'un service relevant de l'administration. En effet, la notion de faute de service sous-tend une défaillance dans le fonctionnement normal du service. Elle peut être retenue, alors même que l'auteur de l'acte est reconnu pénalement responsable, la faute commise personnellement par l'auteur de l'acte étant considérée comme résultant d'un dysfonctionnement du service(18).

Dans ces différentes espèces, les magistrats ont ouvert la voie à une nouvelle appréciation des risques et des causes d'un dommage, en effectuant une analyse globale du contexte et en reconnaissant implicitement que le risque ou le dommage peut résulter d'un ensemble de facteurs caractérisant un dysfonctionnement au sein de l'organisation.

L'émergence récente de la notion d'organisation dans la jurisprudence et les évolutions en termes de responsabilité que cela peut impliquer, sont complétées par une autre évolution, conduisant à la condamnation pénale d'une personne morale, plutôt que d'une personne physique.

(16) Cass. soc., 25 mars 2008, n° 06-45.888.

(17) Cass. soc., 26 janvier 2012, n° 10-12.183

(18) TC 14 janvier 1935, arrêt Thépaz. Un exemple récent : TA Strasbourg, 17 avril 2012, n° 0805890, la faute de service engageant la responsabilité des hôpitaux universitaires de Strasbourg a été reconnue, suite à une grave erreur de dosage commise par une infirmière sur une patiente, ce qui avait entraîné son décès.

### 2.3. Un dysfonctionnement de l'organisation reconnu sur le plan pénal

En vertu de l'article 121-1 du Code pénal, la responsabilité pénale des personnes morales peut être engagée, pour une infraction commise pour leur compte par leurs organes ou leurs représentants. Cette responsabilité pénale n'exclut pas celle des personnes physiques, auteurs ou complices des mêmes faits. Dans un premier temps, la Cour de cassation a restreint la possibilité d'engager la responsabilité pénale de la personne morale, en exigeant qu'elle ne pouvait faire l'objet d'une condamnation que si la personne physique, représentant de la personne morale, avait elle-même commis une infraction[19], consacrant la thèse de la responsabilité « reflet » ou par « ricochet ». Dans un deuxième temps, elle a assoupli son positionnement, en admettant que la personne morale pouvait être pénalement condamnée, alors même que l'infraction n'avait pas été commise par son représentant, mais par une personne titulaire d'une délégation de pouvoir[20], ou encore lorsque les représentants de la personne morale avaient fait l'objet d'une relaxe[21]. En revanche, la Cour de cassation a affirmé le principe selon lequel la responsabilité des personnes morales ne peut être engagée que si une infraction est commise pour leur compte par leurs organes ou leurs représentants. Les magistrats ne peuvent condamner une personne morale sans s'expliquer sur l'existence de ces conditions[22].

Parallèlement, la circulaire du 13 février 2006 relative à l'entrée en vigueur au 31 décembre 2005 des dispositions de la loi n° 2004-204 du 9 mars 2004 généralisant la responsabilité pénale des personnes morales[23] a ouvert la voie vers un allégement des poursuites des personnes physiques, lorsque l'infraction a été commise pour le compte de la personne morale. En effet, la circulaire indique clairement que, dans le cas d'infractions non intentionnelles ou d'infractions de nature technique, résultant notamment de la simple inobservation, en connaissance de cause, d'une réglementation particulière, les poursuites contre la seule personne morale seront privilégiées. La mise en cause de la personne physique n'interviendra que si les magistrats pourront établir une faute personnelle à son encontre. Une analyse de cette circulaire à la lumière de notre problématique conduit à penser que d'une certaine manière, le Ministère de la justice a reconnu le fait que les infractions évoquées révèlent un dysfonctionnement au sein de l'organisation ayant engendré une situation à risque, qu'il serait anormal d'imputer à une personne physique. C'est là notre interprétation de cette circulaire. Mais, la raison d'être de ce texte est aussi liée à une simplification

(19) Cass. crim., 2 déembre. 1997, n° 96-85.484.

(20) Cass. Crim., 1er décembre 1998, n° 07-80-261.

(21) Cass. Crim., 8 septembre 2004, n° 03-85. 826.

(22) Cass. crim., 11 octobre 2011, n° 10-87.212, confirmation cass. crim., 11 avril 2012, n° 10-86.974.

(23) NOR : JUSDO630016C.

des motivations des décisions. En effet, en cas de causalité indirecte, pour engager la responsabilité pénale, les magistrats doivent établir que la faute est d'une exceptionnelle gravité ou que le fautif a violé de manière manifestement délibérée une obligation de prudence ou de sécurité imposée par la loi ou le règlement. Or, ces dispositions ne s'appliquent qu'aux personnes physiques et non aux personnes morales. En condamnant la personne morale, les magistrats n'ont donc pas à caractériser la faute.

Nombre de décisions de justice rendues depuis la circulaire de 2006 sont particulièrement intéressantes au regard de notre problématique car les magistrats procèdent à une analyse des circonstances de l'accident, en soulignant que celui-ci est la résultante soit d'une série de dysfonctionnements au sein d'une entité (entreprise, association, collectivité territoriale), soit d'une politique d'entreprise, mais n'est pas le fruit d'un seul individu. Il est donc logique que seule l'organisation soit condamnée pénalement, à l'exclusion des personnes physiques, comme en témoignent les décisions de justice ci-dessous.

Ainsi, la commune de Strasbourg a-t-elle été condamnée pour homicides et blessures involontaires[24], suite à la chute d'un platane, en juillet 2001, sur une tente aménagée en buvette dans laquelle s'étaient réfugiés les participants à un festival de musique, en raison de la tempête qui sévissait. Les magistrats ont notamment relevé à l'encontre de la commune de multiples négligences dues à des dysfonctionnements au sein des services. Ils ont estimé que compte tenu des informations météorologiques, la ville aurait dû annuler le spectacle, d'autant plus que le risque de chute d'arbre avait été identifié : le parc avait été fragilisé par la tempête de 1999 et le responsable des espaces verts avait préconisé, en juin 2000, d'organiser la manifestation dans un autre site. Cependant, aucune réflexion en 2001 n'avait été engagée entre ce responsable et le service des affaires culturelles, en charge de l'organisation de la manifestation. Les magistrats ont également relevé un autre dysfonctionnement, concernant la réception du bulletin d'alerte météorologique par un service de la commune qui n'a pas relayé l'information aux autres services et notamment au service de la culture.

Un autre exemple est donné par les multiples condamnations de Gaz de France, en raison des explosions, dues à la vétusté des canalisations de gaz[25]. Les magistrats ont relevé, dans les espèces, que GDF avait abandonné la politique de remplacement systématique des canalisations en fonte grise, malgré la connaissance des risques d'explosion du fait de la vieillesse du réseau. Pour les juges, les décisions prises au plus haut niveau de GDF relevaient d'une imprudence pénalement sanctionnable. Au plan local, cet

(24) Les magistrats ont estimé que l'activité en cause, l'organisation de spectacles, était une activité pouvant faire l'objet d'une délégation de service public. La commune pouvait donc être poursuivie pénalement. Tribunal correctionnel, Strasbourg, 26 mars 2007 (comm. P. Jung, JAC 104, en ligne). La commune de Strasbourg n'a pas fait appel de la décision.

(25) Tribunal correctionnel de Toulouse 4 octobre 2010 ; tribunal correctionnel de Dijon, 23 mars 2005, confirmée en appel ; tribunal correctionnel de Caen 29 août 2007, tribunal correctionnel de Mulhouse 8 juin 2009.

abandon de la politique de remplacement s'était traduit par une absence de maîtrise des risques, de contrôle des canalisations et du suivi de leur renouvellement.

Une autre affaire concernant une association montre que les magistrats ont fait remonter la faute au niveau de la structure associative, alors qu'en l'occurrence, le défaut de préparation d'une sortie en kayak pouvait être imputé à l'encadrant. La Cour de cassation a ainsi condamné l'association pour faute d'imprudence et de négligence, suite au décès d'une adolescente(26). Pour les magistrats, l'association, étant spécialisée dans ce style de loisirs, devait s'assurer qu'il n'y avait pas d'obstacle dans le cours d'eau pour ce type d'activité, d'autant plus que le danger était connu.

Dans le domaine de la santé et de la sécurité au travail, la Cour de cassation a, à maintes reprises, condamné pénalement la personne morale, estimant que les carences en matière de sécurité relevaient de l'entreprise(27) et non des personnes en charge de la mise en application des mesures de sécurité, c'est-à-dire le dirigeant ou la personne titulaire de la délégation de pouvoir, quand bien même il pouvait leur être reproché une abstention délibérée de respecter les dispositions de sécurité(28).

Si ces quelques affaires montrent une tendance à faire remonter la responsabilité pénale au niveau de l'organisation, la personne morale, en raison de dysfonctionnements en son sein, les magistrats n'ont pas encore étendu cette imputation de la responsabilité au sein d'un groupe d'entreprises. Les dysfonctionnements organisationnels à l'échelle d'un réseau ne sont donc pas encore appréhendés sur le plan pénal. En effet, le droit français ne reconnaît pas la personnalité morale au groupe de sociétés et la personnalité morale attribuée à chacune des sociétés du groupe rend chacune d'elle responsable de ses propres actes ou faits(29). La responsabilité ne peut donc remonter au plus haut niveau de l'organisation, à la société-mère, à la holding, ce qui ne permet pas de condamner les politiques stratégiques de groupe se révélant accidentogènes. La Cour d'appel de Toulouse a ainsi jugé irrecevable la citation directe à l'encontre du groupe Total concernant l'accident d'AZF(30). Dans cette affaire, les magistrats ont reconnu classiquement une responsabilité pénale à l'encontre du dirigeant de l'usine Grande Paroisse, en raison de ses nombreux manquements délibérés aux règles de sécurité et à l'encontre de la société Grande Paroisse, pour avoir avalisé les choix de son directeur et encouragé des pratiques contraires à la sécurité.

(26) Cass. crim., 13 janvier 2009, n° 08-84.144.

(27) Par exemple, absence de protocole de sécurité pour des opérations de déchargement d'un ensemble routier, cass. crim., 1er février 2011, n° 10-83.955 ; carence du plan de prévention des risques, cass. crim., 15 février 2011, n° 10-85.324 ; absence d'instruction concernant la manipulation d'une machine lors de son installation, cass. crim., 6 septembre 2011, n° 10-84.958.

(28) Cass. crim., 1er février 2011, n° 10-82.764.

(29) Cass. com., 26 mars 2008, n° 07-11.619

(30) Cour d'appel de Toulouse, 24 septembre 2012.

Dans le domaine de la santé et de la sécurité au travail, la Cour de cassation admet néanmoins de faire remonter la responsabilité pénale au niveau de l'entreprise utilisatrice, en cas d'accident du salarié de l'entreprise sous-traitante[31], considérant que le dysfonctionnement est lié à l'organisation pilotant l'ensemble du travail des salariés, quel que soit leur statut.

La problématique des accidents collectifs au prisme de la responsabilité donne une version simplifiée des faits et une vision anachronique des relations au sein de systèmes sociotechniques. Un droit de la responsabilité spécifique permettant d'appréhender toute la complexité de ce type de situation reste à créer : la qualification de « délit », d'« homicide involontaire », la culpabilité pesant essentiellement sur une ou des personnes, sans toujours prendre en considération l'organisation dans son ensemble et le traitement juridique qui s'ensuit sont autant d'éléments qui peuvent être considérés comme une « cote mal taillée » (Decrop, 2003) et appelant une évolution du droit, de manière à mieux appréhender la problématique des accidents collectifs.

## Références bibliographiques


de Belval B. et B. Rolland, « L'expert dit-il le droit ? », *Revue Droit de l'Environnement*, n° 142, octobre.

Calais-Auloy J. (1994) : « Les délits à grande échelle en droit civil français », *RIDC*, n° 2.

Crague G. et C. Paradeise (2012) : « Actualité d'un problème ancien : la responsabilité dans les organisations économiques », *Sociologie du Travail*, vol. 54, n° 1.

Decrop G. (2003) : *Associations de victimes de catastrophes : de l'affliction à la prévention*, Rapport de recherche EPR.

Ewald F. (1992) : « Responsabilité-solidarité-sécurité », *Risques*, n° 10, avril-juin.

Hoyle B. (2011) : « Interview du Chemical Safety Board », *RSE*, n° 10, mai-juin.

Lienhard C. (1995) : *Pour un droit des catastrophes*, Dalloz.

Melloni D. (2010) : « Qu'est-ce qu'un risque collectif ? », *RISEO*, n° 1, pp. 7-15.


(31) Cass. crim., 24 mai 2011, n° 10-85-426.

Morin M-L. (2012) : « Responsabilités et relations d'emploi dans les organisations », *Sociologie du Travail*, vol. 54, n° 1.

Perrow C. (1984) : *Normal Accidents: Living with High Risk Technologies*, Basic Books.

Pin X. (2006) : « Les victimes d'infractions définitions et enjeux », *Archives de Politique Criminelle*, vol. 1, n° 28.

Ricoeur P. (1999) : *À propos du procès du sang contaminé*, Le Monde des Débats, avril.

Rocca O. (2011) : « Les grandes catastrophes modernes vont-elles transformer le périmètre de la loi ? Introduction aux concepts de dommage systémique et de responsabilité systémique », *Risque, Sécurité, Environnement (RSE*), n° 10, juillet-août.

Steinlé-Feuerbach M-F. (2006) : « La place de l'expertise scientifique dans le raisonnement du juge en cas de catastrophe », *Revue Droit de l'Environnement*, n° 142, octobre.

Thoenig J-C. (2012) : « Raisonner en termes organisationnels », *Sociologie du Travail*, vol. 54, n° 1.

Villey M. (1977) : *Esquisse historique sur le mot responsable*, Archives de philosophie du droit, Ed. Sirey, tome 22.

Viney G. (1977) : *De la responsabilité personnelle à la répartition des risques*, Archives de philosophie du droit, Ed. Sirey, tome 22.

Complément C

# Risques, assurance et valeur foncière

**Céline Grislain-Létremy**
*CREST et Université Paris-Dauphine*
**Bertrand Villeneuve**
*Université Paris-Dauphine et CREST*

Les catastrophes naturelles et industrielles résultent de la combinaison d'une source de danger, plus précisément un aléa (probabilité d'occurrence d'un événement et intensité de cet événement) et des enjeux (nombre et vulnérabilité des populations, logements et installations) soumis à cet aléa. Les sociétés sont communément placées dans un état de fait, prévisible parfois, incontrôlé souvent, où le risque est excessif. Bien entendu, les pouvoirs publics réglementent, prennent des mesures collectives et encouragent des mesures individuelles de protection. Il n'est pas rare qu'il s'agisse de rattraper des erreurs et des négligences, et que l'action a posteriori soit le principal moyen employé.

L'assurance permet en principe de tarifer la prise de risque. Cette fonction incitative est une source d'efficacité dans l'usage des sols ; on le conçoit aisément pour une limitation des localisations les plus aberrantes, mais aussi pour une prise en compte fine des différences d'exposition. Il est nécessaire d'examiner les apports de la littérature économétrique sur la réalité de cette intuition. Les risques sont-ils effectivement incorporés dans les primes de risque ? Ces primes sont-elles correctement capitalisées dans les valeurs foncières ?

L'assurance est loin en pratique de tarifer les risques industriels et naturels au juste coût. La tarification actuarielle supposerait un système d'information très complet, des cartes de risques notamment, sur lesquelles appuyer les primes. Deux grandes contraintes pèsent sur l'efficacité. L'une est la production même de ces cartes et de ces données : elles sont coûteuses, et ce sont, en

termes économiques, des biens publics, dont la production par le marché est problématique. L'État, l'acteur le mieux placé, peut être défaillant. L'autre contrainte est de nature légale. Les régimes d'assurance des catastrophes prennent souvent la figure d'une organisation permanente de la solidarité *ex post*, sans en changer les effets économiques. La logique du secours aux victimes exclut la discrimination, et les contributions sont pratiquement uniformes. Le résultat est que l'occupation des territoires, les usages, la densité des activités à la lisière et dans les zones à risques peuvent être inefficaces. Les valeurs foncières sont faussées par la sous-estimation des risques.

Ce complément présente de manière plus détaillée et documentée les mécanismes que nous venons d'esquisser. Nous conclurons sur les principales voies d'amélioration possibles.

## 1. Les coûts des catastrophes naturelles et industrielles : quelques faits

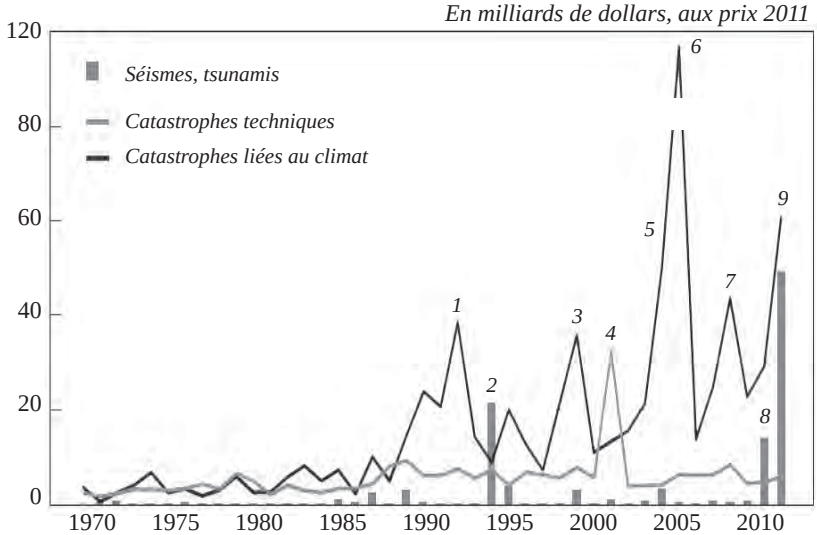
Le bilan humain et économique des catastrophes naturelles et industrielles a augmenté à l'échelle mondiale durant ces dernières décennies. Le graphique suivant illustre l'augmentation des dommages assurés, qui ne représentent qu'une partie des pertes économiques. En 2011, les catastrophes naturelles ou liées à l'activité humaine (catastrophes industrielles ou actes terroristes) ont fait près de 35 000 morts (contre 304 000 en 2010), engendré des pertes économiques de plus de 370 milliards de dollars, dont 116 pour les assureurs (Sigma, 2012).

De nombreux éléments – rappelés à la section 2 du rapport – contribuent à augmenter le coût de ces catastrophes : le nombre croissant de biens assurés dû à la pression démographique et la valeur croissante de ces biens, mais aussi les choix d'installation dans les zones exposées. Les catastrophes naturelles et industrielles ont en effet pour particularité commune d'avoir une forte empreinte géographique, puisque l'exposition à ces risques dépend fortement des choix d'installation, de construction et d'aménagement du territoire.

Ainsi, les coûts des catastrophes naturelles et industrielles sont-ils fortement liés aux constructions d'origine humaine sur un territoire exposé. Ces constructions sont le résultat de l'histoire, de facteurs politiques et économiques, parfois la conséquence de l'ignorance ou de la négligence, ou encore de l'attractivité particulière d'un territoire. En tout état de cause, les risques peuvent augmenter considérablement du fait de l'urbanisation. Les exemples connus en sont l'occupation accrue des zones côtières ou des rives des fleuves, ou l'occupation de zones montagneuses. En Chine par exemple, 50 % de la population vit sur les 8 % du territoire situés à proximité ou en aval des sept principaux fleuves. Ces zones inondables regroupent deux tiers de la production agricole et industrielle du pays (Zhan, 2004). De même, en Floride, 80 % des actifs assurés, soit 1 900 milliards de dollars, sont situés près des côtes, la zone la plus exposée de l'État (Doherty et *al*., 2008).

**Dommages assurés dus à des catastrophes de 1970 à 2011**

*En milliards de dollars, aux prix 2011*




*Lecture* : Les catastrophes techniques désignent les sinistres majeurs liés à l'activité humaine ; elles incluent ainsi les catastrophes industrielles, mais aussi d'autres événements tels que les actes terroristes.
(1) 1992 : Ouragan Andrew ; (2) 1994 : Séisme de Northridge ; (3) 1999 : Tempête hivernale Lothar ; (4) 2001 : Attentat sur le World Trade Center ; (5) 2004 : Ouragans Ivan, Charley et Frances ; (6) 2005 : Ouragans Katrina, Rita et Wilma ; (7) 2008 : Ouragans Ike et Gustav ; (8) 2010 : Séismes au Chili et en Nouvelle-Zélande ; (9) 2011 : Séismes au Japon et en Nouvelle-Zélande et inondation en Thaïlande.

*Source* : Swiss Re Economic Research & Consulting.

La concentration urbaine non contrôlée autour des usines augmente aussi dramatiquement le coût humain et économique des catastrophes industrielles. Par exemple, l'importance de la catastrophe de Bhopal en Inde en 1984 s'explique en partie par l'urbanisation non contrôlée autour de l'usine de pesticides. En effet, la population de Bhopal représentait en effet 102 000 personnes en 1966 ; suite à l'installation de Union Carbide et d'autres industries dans les années soixante, elle atteignait 385 000 en 1971 et a crû jusqu'à 800 000 en 1984 (Ferrante, 2011). La responsabilité des industriels peut ainsi augmenter de manière inopinée. De même, l'étalement urbain conduit aussi des sources de risques, par exemple des installations industrielles initialement en dehors des villes, à se faire rattraper par les constructions, comme l'illustre l'exemple d'AZF[(1)].

D'autres facteurs peuvent contribuer à l'augmentation du coût des catastrophes naturelles et industrielles. À l'heure actuelle, les conséquences

(1) Le site Internet d'AZF (http://www.azf.fr/l-usine-azf-de-toulouse/historique-800233.html) précise qu'« initialement (en 1924) à l'écart des zones d'habitation, l'usine sera progressivement englobée par l'agglomération toulousaine ». Le développement de l'agglomération autour de l'usine y est illustré par des photographies de l'usine et de ses environs dans les années trente et en 2001 (voir la section 2 du rapport).

possibles du changement climatique sur certains risques naturels, tels que les inondations, ne sont pas encore visibles, en raison de son caractère progressif. Le changement climatique augmentera l'intensité et la fréquence des catastrophes naturelles, comme rappelé par le Parlement européen (Anderson, 2006) et par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Schneider et *al*., 2007). Il contribuera en toute hypothèse significativement à l'augmentation du coût de nombreuses catastrophes naturelles et aussi indirectement à l'augmentation du coût des catastrophes industrielles. En effet, les phénomènes physiques en jeu lors des catastrophes naturelles et industrielles peuvent être étroitement liés. Des catastrophes naturelles peuvent par exemple causer des catastrophes industrielles. En mars 2011, un tremblement de terre au Japon a déclenché un tsunami de dix mètres de haut, qui a causé plusieurs accidents nucléaires à Fukushima. D'autres désastres résultent de la combinaison d'aléas naturels et industriels, comme les inondations de boue toxique causées par la rupture d'un réservoir dans une usine d'aluminium en Hongrie en octobre 2010. Les risques naturels et industriels peuvent également s'aggraver mutuellement. Par exemple, les autorités chinoises reconnaissent aujourd'hui que le barrage des Trois Gorges augmente l'activité sismique locale (Garric, 2011). Même les accidents industriels passés peuvent amplifier les conséquences des catastrophes naturelles. En 2010, des feux de forêt en Russie ont brûlé des zones qui avaient été polluées suite à l'accident de Tchernobyl de 1986 ; ceci a conduit à une seconde contamination des populations locales et des cultures agricoles.

Si les risques naturels et industriels présentent de nombreuses similitudes et interdépendances qui plaident en faveur d'une analyse commune, il est important de tenir compte de leur différence essentielle, que le rapport a voulu mettre en évidence : la responsabilité qu'ils impliquent. L'indemnisation des risques industriels relève de la responsabilité privée de l'industriel, alors que celle des risques naturels repose sur une solidarité organisée via des mécanismes de couverture (assurance ou aides publiques). Certes, des populations peuvent s'installer dans des zones exposées en connaissance de cause ; elles peuvent même être parfois précisément attirées vers ces régions du fait des aménités associées au risque (vue sur la rivière ou le littoral, emploi créé, directement ou indirectement, par les usines). Cependant, quelle que soit la chronologie des installations respectives, la loi est claire : la communauté ou l'industriel ne peuvent se dégager de leur responsabilité en cas de catastrophe[(2)]. Dans le cas de l'accident d'AZF, la société Grande Paroisse à laquelle appartenait l'usine d'AZF a ainsi été reconnue entièrement responsable pour l'explosion du 21 septembre 2001, qui a provoqué 31 morts, plus de 4 000 blessés, plus de 10 milliards de francs 2001 de dégâts, 34 500 foyers et 3 500 entreprises sinistrés (Sauvage, 2002).

(2) Une unique exception peut être invoquée : les pollutions chroniques qui induiraient des nuisances mais sans dommage corporel ni matériel (section 3 du rapport).

## 2. Occupation du territoire

### 2.1. La capitalisation des risques dans la valeur foncière

Les risques imposent une forme de servitude attachée aux biens immobiliers. Les valeurs des biens devraient refléter les différences de risques. En principe, la capitalisation des dommages espérés (au sens mathématique du terme) vient en déduction de la valeur totale du bien. Ainsi un bien en zone inondable, ou dans une région soumise à la sécheresse ou aux ouragans sera déprécié par le marché immobilier.

Dans le cas des risques naturels, cet effet joue, que l'assurance dommages soit disponible ou non. Si l'assurance est disponible, la capitalisation négative a pour origine les primes d'assurance. Plusieurs études empiriques basées sur la méthode des prix hédoniques confirment ainsi que les marchés immobiliers valorisent le flux capitalisé des primes d'assurance catastrophes naturelles (Bin et *al*., 2008, MacDonald et *al*., 1990 et Harrison et *al*., 2001). L'éventuelle évolution des primes consécutive à la réalisation de dommages peut à son tour entraîner des révisions des prix de l'immobilier. L'expérience montre même que les prix de l'immobilier réagissent davantage aux primes d'assurance qu'à d'autres révélations du risque : à Houston au Texas dans les années quatre-vingt, les prix de l'immobilier n'ont pas diminué après l'inondation de 1979, mais seulement une fois que les primes d'assurance ont dramatiquement augmenté, précisément suite à cette inondation (Skantz et Strickland, 1987)(3).

L'assurance peut être limitée dans les zones exposées. Aux États-Unis, par exemple, il n'y a pas d'interdiction stricte de construction mais l'État fédéral n'offre pas l'assurance inondations aux ménages vivant dans les zones fortement exposées (FEMA, 2007)(4). En l'absence d'assurance (refus de couverture de la part des assurances, ou prix jugés prohibitifs conduisant au refus de souscrire), la pénalisation risque d'être plus grande encore. En effet, un risque non assuré est perçu comme plus coûteux que son espérance mathématique : c'est le principe de l'aversion pour le risque.

(3) Quoiqu'il soit évident en théorie, cet effet sur la capitalisation n'est pas simple à prouver empiriquement. Il faudrait aboutir à un test *ceteris paribus*, et donc avoir suffisamment d'information pour tenir compte des biais de sélection dans les transactions relevées. Par exemple, des biens bénéficiant d'une vue ou d'un cadre naturel privilégiés ont pour cette raison une valeur plus grande ; or, le risque accru pourrait bien être directement lié à cette qualité. L'utilisation d'une catastrophe (ici une inondation) permet de démêler ces effets en modifiant le risque sans modifier les aménités qui lui sont liées.

(4) En France, les assureurs peuvent refuser d'assurer les ménages et entreprises qui se sont installés dans des zones d'exclusion après la mise en place de cette interdiction (Code des assurances, article L. 125-6), mais, dans les faits, très peu de bâtiments sont concernés.

Dans le cas des risques industriels, leur coût est supporté par les entreprises à la source de ce risque. Les occupants des zones exposées n'ont en toute rigueur pas besoin de souscrire une assurance[5], car la responsabilité de l'industriel jouera en cas d'accident. Cependant, des taxes dépendant de la localisation autour des sites industriels peuvent jouer un rôle similaire à celui joué par l'assurance. Par exemple, en France, les plans de prévention des risques technologiques qui concernent les usines dangereuses et leurs voisinages, prévoient des mesures de prévention assez coûteuses pour les ménages très exposés. Par ailleurs, même en l'absence de ces taxes, les ménages qui les occupent supportent les conséquences d'un potentiel accident industriel. En effet, même si l'industriel responsable indemnise ses victimes, cette compensation est souvent tardive et reste partielle, car certains préjudices moraux ou physiques ne peuvent être indemnisés. Ainsi, dans tous les cas, une partie du risque industriel reste à la charge des occupants du voisinage de l'usine. C'est pourquoi le prix des logements peut diminuer du fait de leur proximité à des installations industrielles (Gawande et Jenkins-Smith, 2001 et Kiel et McClain, 1995).

Ainsi, un espace risqué vaut moins cher car il coûte plus cher. Cependant, cette régularité ne vaut que toutes choses égales d'ailleurs, et les institutions elles-mêmes peuvent mettre en défaut la régularité en brouillant les messages transmis par les marchés immobiliers, ce que nous allons voir maintenant.

La première raison en est que la connaissance des risques peut être mal transmise, ce qui fausse les prix. Il est évident que pour les risques mal connus, ou sur lesquels l'information est asymétrique, le marché peut échouer à incorporer correctement des différences de risques. Sans mécanisme conservant la mémoire des dommages ou un zonage d'intérêt public, les risques peuvent être mal pris en compte dans les prix. Les règles régissant les cessions immobilières garantissent en principe la transmission d'une information minimale sur les risques. Il s'agit de l'obligation de mentionner le classement dans une zone à risque ; potentiellement, des obligations d'information historique peuvent être imposées. En France, par exemple, l'information acquéreur locataire (section 3 du rapport), entrée en vigueur en juin 2006, oblige le vendeur ou le bailleur à informer par écrit l'acquéreur ou le locataire de l'inclusion du logement dans le périmètre d'un plan de prévention des risques naturels ou technologiques et, si tel est le cas, de catastrophes naturelles ou technologiques passées. Mais, en pratique, cette information peut n'être révélée qu'après la signature du compromis de vente, c'est-à-dire une fois le prix de vente négocié.

(5) Ils peuvent cependant souscrire une assurance offrant une assistance juridique en cas d'accident. Par ailleurs, en France, l'État organise la couverture des victimes contre les catastrophes technologiques. Ce système, créé en 2003 suite à l'explosion d'AZF, s'inspire clairement du fonctionnement du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles mais il a des buts plus limités. Le rapport détaille les différences des deux régimes.

La seconde raison vient de l'assurance elle-même, qui est une source d'incitation et d'information. Les primes peuvent résumer les coûts espérés, et surtout les différences de primes peuvent refléter les différences de coûts, si l'on prend en compte des parties fixes. C'est le cas idéal de l'assurance actuarielle, qui apporte une vérité statistique sur le prix du risque. En pratique, l'assurance peut manquer de discernement. Si l'information sur les risques (cartes des risques et autres analyses dynamiques) est trop coûteuse à relier à un client particulier, la tarification peut manquer de finesse. C'est le cas au Japon, par exemple, où la tarification de l'assurance tremblements de terre repose une carte probabiliste de l'aléa sismique composée de quatre zones (Tsubokawa, 2004). Les différences de valeurs foncières reflètent alors davantage des différences de primes, qui ne traduisent que grossièrement les différences d'exposition aux risques.

La troisième raison est que le manque de finesse dans la pratique de tarification peut avoir une autre origine que les assureurs et leurs actuaires. Il peut résulter de la loi elle-même. Aux États-Unis, par exemple, l'assurance inondations est actuarielle mais est subventionnée pour les habitants installés avant la réalisation des cartes de zones inondables. Morgan (2007) montre qu'à Santa Rosa County (Floride), les primes d'assurance subventionnées ont créé un déséquilibre sur le marché immobilier en réduisant l'espérance de pertes dues aux inondations dans les zones inondables. En France ou en Espagne, le régime d'assurance des catastrophes naturelles adosse obligatoirement la couverture du contrat d'assurance dommages (et également d'assurance de personnes en Espagne) et impose par une surcharge proportionnelle indépendante de la localisation (voir Dumas et *al*., 2005 et les sections 3 et 4 du rapport pour un exposé détaillé du régime français). Au sens strict, le risque de catastrophe naturelle n'entre pas directement dans la prime d'assurance. Dans ce contexte, le poids effectif du risque dans les valeurs foncières est mal représenté. Cette situation est de nature à banaliser l'ensemble du territoire habitable en réduisant a minima les incitations à s'écarter des risques.

### 2.2. Les causes de l'urbanisation dans les zones exposées

Des zones très exposées peuvent pourtant être densément peuplées. Comme le rappelaient les exemples d'urbanisation près des fleuves chinois, des zones côtières en Floride ou industrielles en Inde, l'attrait de certains territoires dépasse largement les considérations de risque.

La situation est particulièrement préoccupante lorsque, à ces forces, se joint une inefficacité du contrôle des risques. Une assurance très peu discriminante (par effet de la loi par exemple), ou une complaisance des maires dans l'aménagement du territoire, peuvent être à l'origine d'un accroissement exagéré du risque, et *in fine* du montant des dommages.

Les maires peuvent en effet prendre des décisions biaisées. Ils peuvent sous-estimer l'exposition aux risques de leur commune (ou au contraire la

surestimer suite à des catastrophes) ou surestimer les gains liés au développement économique, car ils les évaluent à court terme dans une optique électorale. Dans le cas des inondations, Burby (2006) illustre ce phénomène par de nombreux exemples aux États-Unis. Ce phénomène est aussi constaté le cas des risques industriels, et ce depuis plusieurs siècles. Ainsi, le décret impérial français de 1810 qui réglementait l'installation des établissements dangereux précisait que l'autorisation d'installation ne devait pas relever des maires mais des préfets.

## 3. Pour une occupation raisonnée des zones exposées

### 3.1. Un usage efficace des territoires

L'occupation des sols résulte d'un compromis entre une meilleure sécurité et un moindre coût de location de la surface. On peut employer indifféremment en première analyse la valeur foncière ou les loyers, la première étant grosso modo la capitalisation des seconds. C'est donc une relation de proportionnalité qui les lie.

L'argument est très général et de nature économique : la concurrence pour les meilleurs emplacements oblige à l'utilisation d'emplacements de moindre qualité. Un gradient de prix suit le gradient des risques. Cette situation n'est pas en soi inefficace, car les sols sont une ressource rare, et une rente différentielle s'installe entre les zones habitables.

Un individu ayant des moyens donnés fera un arbitrage entre le risque et le confort rapporté à l'espace dont il dispose. Au gradient de risque correspond donc également un gradient de densité d'occupation. Par ailleurs, les populations disposent de moyens très divers. La population comprend typiquement une proportion relativement élevée de revenus faibles : pensons à une distribution asymétrique des revenus. Dans ce cas, des zones relativement risquées peuvent être relativement sur-occupées par des populations de revenus modestes alors que les zones les plus sûres sont très chères et moins densément peuplées. En présence d'aménités liées aux risques, les zones exposées peuvent au contraire attirer des populations aisées (comme la vue du littoral depuis les côtes en Floride ou les emplois qualifiés créés par les usines). Ainsi, ces mélanges d'effets à richesse égale et selon la distribution des revenus sont variables selon la situation concrète rencontrée.

Y a-t-il des zones inhabitables ? Sont-elles inhabitées ? Et si elles sont habitées, comment les interdire ou en réguler l'emploi ? L'approche la plus fructueuse consiste à se figurer un gradient de risque, c'est-à-dire un espace dans lequel, selon l'emplacement, le risque passe du plus faible au plus élevé. Les zones les moins risquées devraient être les plus chères. Les prix d'équilibre sont-ils capables de décourager l'utilisation de certaines zones ?

L'expérience de pensée que nous proposons est la suivante : imaginons un domaine habitable restreint (en raison de contraintes administratives

par exemple) ; les valeurs foncières suivront un gradient, lié au risque. Par ailleurs le niveau général des prix (donc indépendamment du gradient) dépendra du rapport entre la population et la surface disponible. Ce niveau peut être extrêmement élevé, c'est l'effet Principauté de Monaco, si l'on veut. Que se passe-t-il si on autorise l'occupation d'une nouvelle parcelle ? Cette parcelle est en elle-même moins attirante que toute parcelle déjà occupée, car elle porte un risque plus grand, cependant, les prix des parcelles occupées sont très hauts en raison de la congestion. Il est donc possible que l'utilisation de cette nouvelle parcelle soit efficace : les bénéfices de la décongestion dépassent alors le surcoût dû au risque accru. Cependant ce mécanisme de décongestion a ses limites : à mesure que la congestion s'atténue, et que l'on va occuper des parcelles vierges de plus en plus risquées, la rencontre des valeurs entre l'ancien et le nouveau se fait, et l'intérêt à accroître l'occupation des sols pour habitation (ou affaires) s'annule.

L'efficacité de l'occupation des sols est dans ce compromis : capter les bénéfices de la décongestion (donc du plus grand confort pour chacun grâce à une baisse des valeurs foncières) et limiter les inconvénients de l'occupation de territoires risqués. Théoriquement, des marchés fonciers parfaits et un marché de l'assurance parfait permettent d'atteindre un optimum de Pareto : l'occupation atteint une limite au-delà de laquelle les risques sont trop élevés.

La question reste : comment atteindre une occupation efficace des sols alors même que les marchés parfaits sont inenvisageables ?

### 3.2. Pourquoi les marchés sont incapables de fournir les bonnes incitations

Une cause d'inefficacité est le fait que l'idéal suppose la production évidemment coûteuse d'un bien public : l'information. Cette information porterait sur les risques, de manière très fine, et permettrait d'associer à tout risque « localisé » un facteur approprié. La production de cette information a peu de chance d'être très complète dans un monde décentralisé et concurrentiel : il est très difficile d'en recouvrer les coûts, car elle n'est pas protégeable, et partant, elle restera limitée.

Une autre solution serait la production publique des cartes et des autres données pertinentes. C'est un peu ce qui se passe en pratique. Cependant, le financement de cette activité est délicat. En théorie, il pourrait être supporté par l'État ou une association *ad hoc* d'assureurs. En fait les questions de mise à jour à des phénomènes locaux ou globaux (changement climatique, progrès technologiques), et de prise en compte des savoirs nouveaux, ou encore des moyens nouveaux de calculs, simulations, codage et transmission de données requièrent du temps et une constante adaptation.

Enfin, des acteurs importants n'ont pas toujours un intérêt net à diffuser l'information qu'ils ont. Les propriétaires et les maires peuvent souhaiter

retarder les mesures de protection ou d'interdiction. En France par exemple, les acteurs locaux craignent en effet que la mise en place des plans de prévention ne révèle le risque et diminue ainsi le prix des logements situés dans les zones exposées (Chabbal, 2005). Les résultats d'études économétriques suggèrent que cet impact sera limité dans le cas des risques naturels (Deronzier et Terra, 2006) ou industriels (Grislain-Letrémy et Katossky, 2013).

La situation pratique est une prise en compte partielle de risques. La précision des cartes, à la fois en termes de finesse de zonage et d'échelle de fiabilité, varie selon le type de périls : les cartes d'activité sismique en France comportent cinq zones(6) ; celles relatives aux retraits et gonflements des argiles en présentent quatre mais sont valables à une échelle plus fine, sans pour autant atteindre l'échelle du logement(7). Les cartes d'inondations aux États-Unis sont valides à l'échelle de la rue mais ne sont pas fournies dans toutes les communes(8).

### 3.4. Les cartes de risque et leurs conséquences réglementaires et tarifaires

Les cartes, qu'elles soient à la pointe du savoir ou grossières, comportent des enjeux réglementaires et tarifaires très importants. La carte est l'outil par excellence de la discrimination des risques. Or la discrimination a mécaniquement des effets différenciés : conduisant à meilleure prise en compte des risques, elle est la source de meilleures incitations à la localisation. Le passager clandestin de la solidarité de fait portée par les assurances sera perdant. Les localisations les plus sûres verront leurs charges diminuer. Ces effets sont délicats à court terme, et peuvent demander des aménagements.

Le blocage politique n'est pas exclu. Il est difficile d'envisager une vérité des prix subite dans certaines zones, à moins d'une détermination politique sans faille. Ainsi, aux États-Unis, l'État a compensé les habitants des zones exposées lors de la mise en place de l'assurance inondations en 1968 : l'assurance reflétait bien l'exposition telle que décrite dans les cartes de risque, mais les occupants des zones exposées installés avant la réalisation de cette carte bénéficiaient d'une subvention. Suite à une sous-estimation de la rotation des biens immobiliers et à plusieurs catastrophes, ce programme a été plus coûteux que prévu : fin 2007, suite aux ouragans de 2004 et 2005, 17 milliards de dollars ont dû être empruntés (Kousky et Michel-Kerjan, 2010). Par ailleurs et surtout, le poids économique des pertes répétées dans les mêmes zones exposées est lourd. Grand Isle, la seule île de la barrière habitée de Louisiane, a, par exemple, été frappée par 50 tempêtes majeures en 130 ans et les dépenses du gouvernement fédéral correspondent

(6) Voir http://www.planseisme.fr/Nouvelle-reglementation-parasismique.html ou carte 3 de la section 2 de ce rapport.

(7) Voir http://www.argiles.fr ou carte 2 de la section 2 de ce rapport.

(8) Voir https://msc.fema.gov/webapp/wcs/stores/servlet/FemaWelcomeView?storeId=10001&catalogId=10001&langId=-1

à une subvention de plus d'un million de dollars par habitation permanente (Bagstad et *al*., 2007). C'est pourquoi, à long terme, le jeu des relocalisations permet d'atteindre une meilleure efficacité.

Ces réserves posées, une certaine dose de discrimination est cependant envisageable. Les aberrations les plus grandes peuvent être pointées et corrigées. Les abus de la part des maires peuvent être combattus ; les cartes devraient au moins servir pour les nouvelles constructions.

### 3.5. Les évolutions dans le temps : comment répondre aux pressions démographiques et au changement climatique ?

La croissance démographique est sélective. En raison notamment des migrations et transitions économique, elle porte nettement plus sur les zones côtières (Nicholls et Small, 2002 et Small et Nicholls, 2003) et les zones déjà urbanisées. Ce phénomène entraîne mécaniquement une hausse des risques. Les évolutions du coût des catastrophes naturelles aux États-Unis sont un indicateur partiel mais instructif des mouvements à l'œuvre. Le changement climatique n'est peut-être pas encore le facteur principal d'aggravation. Cependant, le consensus scientifique aboutit assez nettement à l'hypothèse d'une accentuation de l'intensité des phénomènes extrêmes (tempêtes, ouragans, typhons, sécheresse et inondations).

L'évolution est en partie tracée. Elle oblige les pouvoirs publics et les marchés à une anticipation et une adaptation des réglementations et tarifications.

D'un point de vue normatif, les conséquences sur l'utilisation optimale des sols sont complexes. Plusieurs effets se mêlent. La croissance de la population augmente les valeurs foncières, réduisant l'importance relative du risque. Cet effet pousse vers une occupation plus large des sols. Au contraire, l'augmentation de l'aléa plaide pour une réduction des zones occupées. Les Pays-Bas, par exemple, sont particulièrement vulnérables à une augmentation du niveau de la mer, puisque 70 % des propriétés se situent en dessous du niveau actuel de la mer ou des fleuves (Kok et *al*., 2002). En 2008, en anticipation du changement climatique, le Delta Committee a recommandé plusieurs avancées en gestion de l'eau, incluant l'achat de terrains à proximité des principaux fleuves. Par ailleurs, les évolutions des valeurs foncières ont des effets d'enrichissement et de redistribution dont la prévision exigerait des informations très poussées.

## Conclusion

Les cartes de risques sont la base de toute tarification ou réglementation fine des usages du sol. Comme d'autres données moins essentielles, ces cartes sont des biens publics : l'emploi par les uns n'empêche par l'emploi par les autres. Les incitations à produire un bien public sont notoirement insuffisantes. Le risque de se voir déposséder d'un investissement est trop

grand ; les économies d'envergure dans l'établissement des cartes afin qu'elles répondent à une multitude d'usages particuliers risquent de ne pas être saisies par les acteurs. Le rôle de l'État, et plus généralement de partenariats, dans la conception, la mise en place, la mise à jour et la divulgation de ces cartes est crucial.

Les cartes sont le support commun de l'assurance et de la limitation de l'occupation des sols. L'assurance par son rôle incitatif potentiel peut limiter l'occupation des zones exposées. Pour les risques naturels, la tarification de l'assurance peut être croissante en fonction de l'exposition aux risques. Aux États-Unis ou au Japon, l'assurance est actuarielle, dans la limite de l'information rendue disponible par les cartes d'aléa (Hayes et Neal, 2009 et Tsubokawa, 2004).

La réglementation des usages des sols par son rôle coercitif peut également limiter l'urbanisation dans les zones exposées à un fort aléa. Pour les risques naturels, l'État peut réduire l'urbanisation existante, en préemptant les terrains exposés ou expropriant leurs occupants, et l'urbanisation future, en interdisant les nouvelles constructions. Suite aux grandes inondations de 1993 aux États-Unis, plus de 9 000 ménages ont vendu leurs propriétés (FEMA, 2008) ; des villes entières, comme Valmeyer dans l'Illinois ont décidé de déménager vers des zones plus en amont (Bagstad et *al*., 2007). Au sein de l'Union européenne, les États membres ont mis en place des politiques d'aménagement du territoire et ont notamment défini des zones interdites de toute construction autour des usines dangereuses(9). Ce type de mesures existait au niveau national, bien avant la création de l'Union européenne. En France, par exemple, le décret impérial du 15 octobre 1810 relatif aux manufactures et ateliers insalubres, incommodes ou dangereux avait déjà introduit le principe d'une implantation réglementée de ces activités et obligeait les activités les plus dangereuses à s'éloigner des habitations. Les industriels peuvent également de leur propre chef acheter ou louer des terrains autour de leurs usines. En Louisiane (États-Unis), en 1991, la compagnie Dow Chemical a, par exemple, financé la relocalisation d'un village de 300 habitants initialement situé tout près de ses usines chimiques (Sauvage, 1997).

Ainsi, l'assurance par son rôle incitatif potentiel et la réglementation des usages des sols par son rôle coercitif sont des compléments évidents de la gestion des risques. Alors que la défaillance de l'une peut être compensée par les renforcements de l'autre, des zones noires échappent à ces cribles, et des inefficacités mineures mais systématiques sont négligées. La complémentarité bien comprise des incitations financières et des obligations réglementaires constitue donc la grande voie d'amélioration.

(9) L'article 12 de la directive Seveso II (directive 96/82/CE du Conseil du 9 décembre 1996 concernant la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses) impose aux États membres de prendre en compte certaines distances de sécurité entre les industries dangereuses et leur environnement humain et naturel. Basta (2009) fournit une comparaison exhaustive des transpositions nationales de ces politiques dans les différents États membres.

## Références bibliographiques


Anderson J. (2006) : *Climate Change and Natural Disasters: Scientific Evidence of a Possible Relation Between Recent Natural Disasters and Climate Change*, Technical Report. European Parliament.

Bagstad K.J., K. Stapleton et J.R. D'Agostino (2007) : « Taxes, Subsidies, and Insurance as Drivers of United States Coastal Development », *Ecological Economics*, n° 63, pp. 285-298.

Basta C. (2009) : *Risk, Territory and Society: Challenge for a Joint European Regulation*, PhD Thesis, Civil Engineering and Geosciences, Sustainable Urban Areas Research Center.

Bin O., J.B. Kruse et C.E. Landry (2008) : « Flood Hazards, Insurance Rates, and Amenities: Evidence from the Coastal Housing Market », *Journal of Risk and Insurance*, n° 75, pp. 63-82.

Burby R.J. (2006) : « Hurricane Katrina and the Paradoxes of Government Disaster Policy: Bringing About Wise Governmental Decisions for Hazardous Areas », *Annals of the American Academy of Political and Social Science*, n° 604, pp. 171-191.

Chabbal J. (2005) : « Le risque invisible, la non-émergence d'un problème public », *Politix*, n° 18, pp. 169-195.

Deronzier P. et S. Terra (2006) : « Bénéfices économiques de la protection contre le risque d'inondation », *Document de travail de la Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale*, Série Études 06-E05, n° 5.

Doherty N.A., M.F. Grace, R.W. Klein, H.C. Kunreuther, E.O. Michel-Kerjan et M.V. Pauly (2008) : *Managing Large-Scale Risks in a New Era of Catastrophes: Insuring, Mitigating and Financing Recovery from Natural Disasters in the United States. Technical Report*, Wharton Risk Management and Decision Processes Center.

Dumas P., A.C.H. Legrand, A. Macaire, C. Dimitrov, X. Martin et C. Queffelec (2005) : *Rapport particulier sur la prévention des risques naturels et la responsabilisation des acteurs*, Mission d'enquête sur le régime d'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles, IGF, CGPC, IGE.

FEMA (2007) : *Myths and Facts about the National Flood Insurance Program, Technical Report*, Federal Emergency Management Agency. Disponible sur http://www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=3002

FEMA (2008) : *Nearly 5,000 Missouri Families Made Safer Since 1993 Floods*, Technical Report. Federal Emergency Management Agency. Disponible sur http://www.fema.gov/news-release/2008/03/28/nearly-5000-missouri-families-made-safer-1993-floods

Ferrante J. (2011) : *Sociology: A Global Perspective*, Wadsworth Cengage Learning.

Garric A. (2011) : *Le colossal barrage des Trois-gorges inquiète la Chine*, Le Monde.fr blogs 24 mai.

Gawande K. et H. Jenkins-Smith (2001) : « Nuclear Waste Transport and Residential Property Values: Estimating the Effects of Perceived Risks », *Journal of Environmental Economics and Management*, n° 42, pp. 207-233.

Grislain-Letrémy C. et A. Katossky (2013) : « Les risques industriels et le prix des logements », *Économie et Statistique*, à paraître.

Harrison D.M., G.T. Smersh et A.L. Schwartz (2001) : « Environmental Determinants of Housing Prices: The Impact of Flood Zone Status », *Journal of Real Estate Research*, n° 21, pp. 17-38.

Hayes T.L. et D.A. Neal (2009) : *Actuarial Rate Review, National Flood Insurance Program*, Technical Report Federal Emergency Management Agency.

Kiel K. et K. McClain (1995) : « The Effect of an Incinerator Siting on Housing Appreciation Rates », *Journal of Urban Economics*, n° 37, pp. 311-323.

Kok M., P.H.A.J.M van Gelder, J.K. Vrijling et M.P. Vogelsang (2002) : *Risk of Flooding and Insurance in the Netherlands*, Science Press, New York.

Kousky C. et M. Michel-Kerjan (2010) : « Come Rain or Shine: Evidence on Flood Insurance Purchases in Florida », *Journal of Risk and Insurance*, n° 77, pp. 369-397.

MacDonald D.N., H.L. White, P.M. Taube et W.L. Huth (1990) : « Flood Hazard Pricing and Insurance Premium Differentials: Evidence from the Housing Market », *Journal of Risk and Insurance*, n° 57, pp. 654-663.

Morgan A. (2007) : « The Impact of Hurricane Ivan on Expected Flood Losses, Perceived Flood Risk, and Property Values », *Journal of Housing Research*, n° 16, pp. 47-60.

Nicholls R.J. et C. Small (2002) : « Improved Estimates of Coastal Population and Exposure to Hazards Released », *Eos Trans. AGU*, vol. 83, n° 28, pp. 301-305

Sauvage L. (1997) : *L'impact du risque industriel sur l'immobilier*, Association des études foncières.

Sauvage L. (2002) : « La maîtrise de l'urbanisation autour des sites industriels à risque », *Études Foncières*, n° 95, pp. 28-29.

Schneider S., S. Semenov, A. Patwardhan, I. Burton, C. Magadza, M. Oppenheimer, A. Pittock, A. Rahman, J. Smith, A. Suarez et F. Yamin (2007) : « Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability », Chap. 19 in *Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, pp. 779-810.

Sigma Re (2012) : *Catastrophes naturelles et techniques en 2011 : des dommages historiques suite à des séismes et des inondations record*, Rapport Sigma 2/2012, Swiss Re.

Skantz T.R. et T.H. Strickland (1987) : « House Prices and a Flood Event: An Empirical Investigation of Market Efficiency », *Journal of Real Estate Research*, n° 2, pp. 75-83.

Small C. et R.J. Nicholls (2003) : « A Global Analysis of Human Settlement in Coastal Zones », *Journal of Coastal Research*, n° 19, pp. 584-599.

Tsubokawa H. (2004) : « Japan's Earthquake Insurance System », *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, n° 4, pp. 154-160.

Zhang H. (2004) : *China: Flood Management*, Technical Report. WMO/GWP Associated Program on Flood Management.

Complément D

# Les outils de couverture des risques majeurs alternatifs à l'assurance et à la réassurance conventionnelles

**André Schmitt et Sandrine Spaeter**
*BETA, Université de Strasbourg*

## Introduction

Le risque de catastrophes naturelles provoque des coûts substantiels et croissants. Un rapport publié en 2010 par la Banque mondiale et les Nations unies (*Risques naturels, catastrophes non naturelles : aspects économiques d'une prévention efficace*) avance que les catastrophes ont provoqué plus de 3,3 millions de morts et 2 300 milliards de dollars de dégâts (en dollars 2008) entre 1970 et 2010. Selon L'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), en Europe, 7 % des accidents industriels sont liés à l'interaction entre un aléa naturel et un risque technologique. Pour la seule année 2011, le secteur de la réassurance a indemnisé 105 milliards de dollars(1).

Le changement climatique impose dès lors de renforcer la prévention, mais aussi la couverture de risques majeurs. En effet, un de leurs traits essentiels tient à l'éventualité non négligeable de défaillance de l'assureur en cas de catastrophe. Pour diminuer cette probabilité de défaut, il va chercher à se réassurer. La relation assureur-réassureur a été et reste la solution naturelle pour rétrocéder une partie des risques majeurs. Toutefois, la nature même de ces risques exacerbe les coûts transactionnels et a nécessité des stratégies alternatives et complémentaires plus adaptées. Dans cette contribution, nous discuterons exclusivement de deux de ces stratégies qui ont considérablement élargi et diversifié les méthodes de couverture, à savoir la *titrisation de la couverture des risques majeurs* et *l'auto-assurance par les captives*.

(1) *Scor fait preuve de résistance, Les Échos* du vendredi 9 mars 2012.

Il nous a semblé utile, dans une première section, de décrire précisément les raisons pour lesquelles la réassurance est insuffisante, à elle seule, à couvrir les risques majeurs. Ces risques, par la forte corrélation des sinistres des assurés, rendent caduque l'application de la loi des grands nombres pour mutualiser les pertes du portefeuille de l'assureur. Outre le *risque de défaut*, ils accroissent les coûts provoqués par l'*aléa moral*. À travers un contrat de réassurance classique, les incitations pour l'assureur à investir dans la prévention des risques majeurs (*aléa moral ex ante)* et à procéder à un règlement de sinistres scrupuleux qui ne lèse pas le réassureur (*aléa moral ex post)* sont atténuées. Le phénomène d'anti-sélection est également présent dans les relations assureurs-réassureurs. La surfacturation imposée par les sociétés de réassurance en raison de ces coûts transactionnels est précisément à l'origine de la recherche de solutions de couverture alternatives par les sociétés d'assurance.

L'une des réponses apportées a été le transfert partiel du risque aux marchés financiers. Cette titrisation à grande échelle a donné naissance à une panoplie de nouveaux instruments financiers. Nous nous focaliserons essentiellement sur les plus connus, à savoir les obligations sur catastrophe naturelle et les options sur catastrophe naturelle. Ils permettent d'illustrer aisément en quoi leurs caractéristiques propres permettent de réduire les coûts transactionnels. Ce sont aussi des marchés qui ont atteint un certain degré de maturité permettant un regard critique sur leur efficacité en cas de survenue d'un sinistre majeur.

Ces marchés de transfert alternatifs de risque, malgré une croissance en soubresauts, se sont développés très rapidement. Pour le seul marché des obligations sur catastrophe naturelle, leur capitalisation boursière a été multipliée par 15 entre 1997 et 2012 quand elle s'établissait à 15 milliards de dollars. Notons toutefois que l'essentiel des montants couverts par le secteur privé pour risque de catastrophes naturelles concerne l'Amérique du Nord et, plus récemment, l'Asie-Océanie. Les montants assurés en Europe ne représentent que 2 %. Cela s'explique essentiellement par une exposition aux risques majeurs plus faible. En réalité, tout comme pour le marché de réassurance, l'Europe est souscripteur net et prend en charge une partie des risques du reste du monde.

En marge de cette titrisation des risques de catastrophes, et si elle ne souhaite pas se diriger vers l'assurance ou la réassurance conventionnelles, une entreprise a également la possibilité de pratiquer une forme d'auto-assurance par la création de *captives*, des sociétés d'assurance ou de réassurance détenues par l'entreprise elle-même. Le nombre de captives dans le monde s'élève à 5 785 à la fin de 2011, en augmentation de 900 depuis 2005.

Cette contribution est organisée autour de deux sections. La première porte sur les avantages des transferts de risques alternatifs à l'assurance et à la réassurance, autrement dit à la titrisation et aux captives. Sans toutefois rentrer dans le détail de leur construction dans cette première section, nous discutons de la diminution du risque de défaut, de l'amélioration de la couverture, ainsi que de la diminution des coûts d'agence liés au problème du risque moral et de l'anti-sélection dans les relations assurés-assureurs et assureurs-réassureurs. La section 2 présente plus précisément les caractéris-

tiques des obligations sur catastrophe naturelle, des options sur catastrophe naturelle et des captives. Des exemples illustrent nos propos.

## 1. Avantages des transferts alternatifs de risques

L'avantage premier de la titrisation des risques par comparaison avec l'assurance (ou la réassurance) classique tient à la très grande capacité financière des marchés de capitaux. Ces derniers peuvent dès lors contribuer fortement à augmenter la solvabilité de l'ensemble des secteurs de l'assurance et de la réassurance et assurer une couverture élargie. Ainsi, au début des années 2000, le marché américain de l'assurance avait une capacité financière tout au plus égale à trois fois la valeur du seul ouragan Andrew qui avait touché Miami en 1992. Ce montant est à rapprocher de la capitalisation boursière à la même période, qui s'élevait à 13 000 milliards de dollars correspondant ainsi à plus de 50 fois la capacité des assureurs (Doherty, 2000). Ces ordres de grandeur sont toujours d'actualité : en 2009, les primes d'assurance versées dans le monde entier s'élevaient à 4,33 trillions de dollars, ce qui représentait à peine 2,3 % des actifs financiers (International Association for the Study of Insurance Economics, 2011).

Toutefois, cette possibilité de répartir le risque auprès d'un très grand nombre d'investisseurs n'est qu'un aspect de la titrisation. La titrisation des risques majeurs permet d'être tour à tour un complément et un substitut à l'assurance traditionnelle. Dans les deux sous-sections qui suivent nous nous appliquons à développer ce point en considérant deux caractéristiques des marchés d'assurance qui sont des freins à l'existence de couvertures adéquates des risques majeurs.

### 1.1. Amélioration de la couverture et diminution du risque de défaut

Nous considérons d'abord le risque de défaut des parties qui assurent ou réassurent avec la problématique connexe de la capacité de couverture. Les asymétries d'information entre assurés et assureurs ou assureurs et réassureurs sont ensuite analysées. Nous expliquons en quoi la titrisation permet de lever – au moins partiellement – ses freins et de compléter ainsi l'offre de couverture.

#### *1.1.1. Une diversification plus grande des risques majeurs*

L'un des avantages des ART[(2)] souvent mis en avant tient à la faible corrélation entre les risques qu'ils sont censés couvrir (de catastrophes naturelles, technologiques) et les risques liés aux autres titres des marchés financiers. Il

(2) ART est le terme anglais pour *Alternative Risk Transfer* : transferts alternatifs des risques. Cette terminologie étant répandue dans la littérature, nous la retenons sans la traduire. Les ART regroupent l'ensemble des instruments financiers qui permettent de couvrir un risque autrement que par la pratique classique de l'assurance ou de la réassurance (transfert du risque d'un agent assuré vers un agent assureur ou réassureur moyennant le versement d'une prime d'assurance, avec une indemnisation exclusivement dépendante des pertes de l'assuré concerné par le contrat).

n'y a, en effet, aucune raison pour que la vraisemblance d'un tremblement de terre soit plus élevée en période de crise financière et/ou économique qu'en période de croissance stable. Les titres dont les supports ne sont pas des actifs financiers, mais des grandeurs telles qu'une température, un degré d'hygrométrie, une mesure agronomique ou le montant de dommages suite à une catastrophe, sont alors suffisamment indépendants des titres financiers tels que les actions, les obligations ou les actifs dérivés traditionnels dont le support n'est pas un indice de catastrophe naturelle, pour apporter une dimension supplémentaire à la diversification de portefeuille. Autrement dit, si plus de titres indépendants sont disponibles, plus d'états de la nature pourront être couverts. Une conséquence attendue de cette indépendance est un prix d'achat plus élevé que celui d'autres titres à rendement attendu identique dans la mesure où pratiquement aucune corrélation avec le portefeuille de marché n'est observée (Litzenberger, Beaglehole et Reynolds, 1996 et Cummins et Weiss, 2009). Cummins et Trainar (2009) notent d'ailleurs le bon comportement des ILW(3) durant la crise de 2007-2009. Puisque les ART sont très faiblement corrélés avec les marchés financiers, ils devraient mieux résister à une crise financière que les actifs financiers « classiques ». Ceci a été effectivement confirmé par les observations empiriques : leur volatilité et leur liquidité sont restées stables au moins jusqu'à la faillite de Lehman Brothers à l'automne 2008.

Lakdawalla et Zanjani (2012) remarquent que cette amélioration possible de la couverture de risques de catastrophes, par comparaison avec la réassurance classique, peut encore être renforcée. À partir d'un exemple très simple, ces auteurs montrent, en effet, qu'en associant un contrat de réassurance classique avec une obligation sur catastrophe, il est possible de s'éloigner de la règle de répartition des indemnités au prorata(4) entre assureurs en cas de faillite du réassureur et, ainsi, d'améliorer le niveau de couverture des cédants les moins bien couverts dans le cadre de la seule réassurance classique.

### *1.1.2. Le risque de défaut*

La question du défaut d'un réassureur que nous venons d'évoquer, qui impacte directement la solvabilité de l'assureur et donc les chances de l'assuré d'être correctement indemnisé, est un autre élément important avancé par les défenseurs des ART.

(3) ILW est l'acronyme anglais de *Industrial Loss Warranties*, acronyme que nous retenons également sans le traduire. Sous cet acronyme est regroupé l'ensemble des contrats de couverture pour lesquels l'indemnisation de la partie qui cherche à s'assurer ne dépend pas de son propre dommage mais des dommages de tout un secteur par exemple. Ces contrats sont présentés et illustrés dans la section 2.

(4) Cette règle en vigueur sur le marché de la réassurance stipule que chaque cédant obtient un même pourcentage d'indemnités lorsque la capacité de couverture du réassureur n'est pas suffisante suite, par exemple, à un événement sinistre de très grande envergure (qui touche plusieurs cédants simultanément).

Sans entrer dans le détail des caractéristiques de certains titres de ART (ce qui sera fait dans la section 2), il est nécessaire à ce stade de distinguer les obligations et les options sur catastrophe proposées par certains marchés financiers ainsi que les captives élaborées par une entreprise ou un secteur et n'ayant pas de lien (direct) avec les marchés financiers.

Considérons d'abord le souscripteur (l'acheteur ou l'investisseur) d'une obligation sur catastrophe naturelle (tremblement de terre, cyclone…). Par définition de cet actif dérivé dont le support est un montant de dommages dus à une catastrophe naturelle donnée, la dette de l'émetteur (le vendeur) sera partiellement ou totalement effacée si la catastrophe survient. Le souscripteur supporte ainsi un risque de non-remboursement du capital prêté. En revanche, l'émetteur d'un tel titre, qui cherche à se couvrir contre la survenue d'une catastrophe n'est pas confronté au risque de défaut. Le montant couvert est, en effet, complètement indépendant des actifs des détenteurs de ces obligations car entièrement provisionné : la dette est entièrement collatéralisée.

L'option sur catastrophe naturelle, en revanche, ne protège pas son émetteur d'un risque de défaut du souscripteur. Rappelons que ce contrat permet à l'acheteur de l'option d'acquérir l'indice, qui aura pris de la valeur suite à une catastrophe, à un prix prédéterminé. Si les garanties initiales présentées par le souscripteur ne suffisent pas à honorer le paiement, le contrat peut ne pas être exécuté(5).

Pour améliorer la liquidité du marché du côté de la demande d'options sur indice cat-nat, les marchés ont construit des contrats *stop loss,* dont la valeur de l'indice est encadrée par un minimum et un maximum. Ces contrats permettent ainsi de découper le contrat initial d'option sur indice, qui couvre un large éventail de montant de dommages, en contrats dont le décaissement est plafonné. Ceci permet de limiter significativement le risque de défaut de chaque souscripteur.

Quant à la captive, il s'agit d'une filiale dont l'activité est la couverture exclusive des risques de la maison mère. Seul le risque de défaut de cette dernière est concerné même lorsqu'il s'agit d'une catastrophe qui concerne tout un secteur. Donc le risque de défaut n'est pas aussi prononcé que celui d'un réassureur de tout un secteur par exemple. Par ailleurs, la société parente a la possibilité de recapitaliser sa captive. Enfin, des nouvelles formes de captives sont apparues pour limiter le risque de défaut, notamment par la création de « sociétés cellulaires protégées » (*protected cell companies*). La section 2 entre dans les détails de ces mécanismes.

(5) Comme nous le verrons plus loin, un indice peut correspondre à une somme d'indemnités demandées dans une région donnée divisée par les primes d'assurance de cette même région sur l'année. En l'absence de catastrophe, l'indice ne prend aucune valeur, son numérateur étant égal à zéro. En cas de catastrophe, sa valeur augmente avec le montant des indemnités à payer.

## 1.2. Les actifs ART face aux asymétries d'information

Nous considérons ici les deux principaux types d'asymétries d'information – le risque moral et l'anti-sélection – qui prévalent dans le cadre des activités d'assurance et de réassurance.

### *1.2.1. Le risque moral*

Les coûts liés au problème du risque moral font partie des coûts de gestion les plus importants dans le domaine de l'assurance ou de la réassurance (Doherty 2000, Doherty et Richter 2002 et Doherty et Smetters 2002). Dès lors qu'un risque est transféré à une tierce partie, et parce que l'effort de protection ou d'auto-assurance(6) est coûteux en général et pas toujours vérifiable ou facilement observable, les incitations à contrôler le risque assuré diminuent. Ce constat est essentiellement dû au fait que l'indemnisation de l'assuré par l'assureur, ou de l'assureur par le réassureur, est basée sur le sinistre de l'assuré, ou de l'assureur, dans un contrat classique. L'indemnisation étant non décroissante avec le montant du sinistre (au pire plafonnée), le coût marginal de l'effort de réduction du risque peut devenir important au regard du bénéfice marginal attendu.

Deux types de risque moral peuvent être considérés. Le risque moral *ex ante* se rapporte à une situation dans laquelle la partie qui s'assure n'investit pas suffisamment dans des activités qui permettraient de réduire le risque (la probabilité ou le montant des dommages) avant qu'il ne se réalise. Le risque moral *ex post* concerne une situation dans laquelle la partie assurée gonfle le montant des dommages éligibles à l'indemnisation après la réalisation d'un événement donnant droit à indemnisation.

Le problème de risque moral lié au sous-investissement dans des activités de prévention de l'assuré (ou du cédant), qu'il soit de type *ex ante* ou *ex post*, peut être contourné en basant l'indemnisation de l'assuré non plus exclusivement sur son propre sinistre, mais sur un indice qui dépend du sinistre d'un secteur d'activité donné ou d'une région géographique par exemple. À moins d'une corrélation parfaite entre le sinistre de l'assuré et celui de son secteur d'activité ou de la région dans laquelle il est installé, il va exister un décalage entre l'évolution des deux montants. Ainsi une indemnisation qui se déclenche à partir d'une certaine valeur de l'indice, et dont le montant en dépend, ne correspond pas à une couverture complète du risque individuel supporté par l'assuré. La part de risque restant à la charge de l'assuré du fait d'un déclencheur (*trigger*) de l'indemnisation non exclusivement basé sur sa propre perte augmente le bénéfice marginal

(6) Protection et auto-assurance sont deux formes différentes de prévention. La première concerne les activités qui réduisent la probabilité de survenue de l'aléa. La seconde a trait à la réduction de la gravité du dommage (donc à la diminution du montant indemnisé) en cas d'accident et elle agit donc sur la vulnérabilité.

des efforts de protection ou d'auto-assurance[7]. Ici, l'assuré peut être une entreprise non assurantielle qui se couvre en s'adressant directement aux marchés financiers et non à un assureur au sens classique du terme, ou une société d'assurance qui souhaite couvrir une partie des risques qu'elle a dans son portefeuille.

Ce décalage entre risque « individuel » (idiosyncratique) et risque du secteur est appelé risque de base et fait ainsi baisser les coûts d'agence liés à la problématique du risque moral entre les parties.

Les efforts de réduction des risques devenant alors plus rentables, la partie la moins informée (l'assureur dans une relation avec un assuré, le réassureur lorsqu'il rachète une partie des risques d'un assureur) peut encore diminuer ses activités d'audit et en réduire ainsi les coûts, ce qui est une autre source de bénéfice de l'indemnisation sur la base de la valeur d'un indice.

Nous avons mentionné dans l'introduction qu'il existait différentes possibilités de couverture alternatives à l'assurance ou à la réassurance classiques d'un risque majeur, certaines ne différant que du fait des clauses juridiques qui régissent les contrats, d'autres au contraire faisant appel à des titres ayant des caractéristiques intrinsèques spécifiques. Parmi les trois types de couverture alternative que nous avons choisi d'exposer dans la section 2, l'option sur catastrophe naturelle (« cat-nat ») et l'obligation sur catastrophe naturelle peuvent avoir comme déclencheur un indice (de pertes du secteur, de température, etc.). Ils font ainsi explicitement apparaître un *risque de base* et peuvent atténuer le problème du risque moral[8]. La captive, en revanche, n'est pas basée sur la valeur d'un indice : son objectif premier est de couvrir exclusivement les risques de la société parente. Le risque moral peut toutefois être réduit comme nous le verrons dans la section 2.

À ce stade, il est important de préciser que, selon qu'il s'agit de catastrophes naturelles ou de catastrophes industrielles, le type de risque moral qui prévaut diffère. Dans le contexte de catastrophes naturelles, l'homme ne peut pas influencer la probabilité de survenue de la catastrophe (pas à court terme), mais il peut contrôler le montant des dommages *ex ante* (en construisant par exemple, ou non, des bâtiments en respectant les normes sismiques) et *ex post* (en déclarant par exemple des dommages non éligibles à l'indemnisation)[9]. Les deux types de risque moral prévalent. Toutefois, le risque moral *ex post*, est plus important que le risque moral *ex ante* dans la mesure où il est coûteux de vérifier toutes les déclarations des sinistrés qui sont, par définition d'un risque majeur, nombreux. Dans le contexte de risques industriels, l'entrepreneur peut décider des investissements à la fois

(7) Niehaus et Mann (1992) et Doherty (1997) vont jusqu'à envisager que le déclencheur de l'indemnisation (la valeur de l'indice) puisse être indépendant des pertes de la partie qui cherche à se couvrir.

(8) L'exemple de la couverture du risque de tremblement de terre en Californie par des options sur cat-nat sera présenté dans la section 2 afin d'illustrer nos propos.

(9) Ce sont alors les activités d'auto-assurance plutôt que celles de protection qui ont du sens.

dans des mesures de protection visant à diminuer la probabilité de l'aléa et dans des mesures qui permettent de réduire la vulnérabilité (diminution des dommages). L'existence d'un risque de base est ainsi pertinente pour les deux types de catastrophes (naturelles et industrielles), même si elle semble, *a priori*, plus souhaitable dans le cas de la couverture de risques de catastrophes industrielles. En fait, dans les deux cas, il s'agit d'arbitrer entre plus de risque de base et moins de couverture (donc moins de risque moral), et moins de risque de base mais une couverture plus élevée. Le cas limite, dont on cherche à s'éloigner, est une assurance complète dont le déclenchement de l'indemnisation serait entièrement expliqué par le montant des pertes de l'assuré et qui peut être proposé par l'assurance ou la réassurance classiques.

### *1.2.2. L'anti-sélection*

Concentrons-nous à présent sur le second type d'asymétrie d'information qui prévaut sur les marchés d'assurance et de réassurance : l'anti-sélection. Un avantage appréciable d'un indice est que sa valeur n'est pas sensible à l'information disponible quant aux caractéristiques des différentes parties qui contractent entre elles (l'assuré et l'assureur ou l'assureur et le réassureur). En particulier, sa valeur ne varie pas que l'on considère un agent à haut risque ou à bas risque à la recherche d'une couverture de ses risques. Le problème de l'anti-sélection peut ainsi être contourné.

Dans la relation bien connue entre l'assuré et l'assureur, nous savons depuis les travaux de Rothschild et Stiglitz (1970 et 1971) qu'il y a anti-sélection lorsque toutes les caractéristiques d'un assuré ne sont pas connues de l'assureur et que ce dernier ne peut donc pas imposer à un client donné un contrat adapté à son profil de risque. Dans ce cas, un haut risque peut être intéressé par un contrat tandis qu'un bas risque le rejettera. Une solution pour l'assureur ou le réassureur consiste alors à proposer un menu de contrats à tous les clients et, si ces contrats sont bien construits, chaque client choisira le contrat qui, simultanément, lui correspondra le mieux et maximisera le bien-être social sous contraintes.

Dans la relation entre assureurs et réassureurs, l'anti-sélection provient de la relation de long terme qui prévaut souvent entre les deux parties. Ainsi, un réassureur acquiert de l'information de son client (l'assureur ou le cédant) au cours du temps, ce qui lui permet de le rendre captif du fait du caractère informel et difficilement retranscriptible de l'information qu'il détient. Le réassureur a donc un avantage compétitif sur les autres réassureurs et seuls les hauts risques peuvent avoir intérêt à quitter leur réassureur historique.

Finken et Laux (2009) montrent que l'émission de certains titres dont le support est un indice sur catastrophes peut permettre de gérer ce problème d'anti-sélection. Les autres réassureurs anticipent alors, mais ne peuvent pas vérifier, que les hauts risques utilisent leur rente informationnelle et quittent

plus facilement leur réassureur historique pour s'adresser à eux. La théorie économique suggère alors que les réassureurs en dehors de la relation contractuelle proposent un menu de contrats qui permet de séparer les hauts risques des bas risques (contrats dits séparateurs). Toutefois, dans le cadre précis qui nous occupe, l'existence de tels contrats séparateurs ne permet pas aux autres réassureurs d'éliminer tous les coûts d'agence liés à l'avantage informatif du réassureur historique (Finken et Laux, 2009). L'introduction de titres financiers dont le support est un indice de pertes par catastrophe ou pour tout un secteur par exemple va régler ce problème dans la mesure où cet indice est insensible au seul risque de perte d'un assureur donné et donc insensible à l'information sur son profil (haut risque ou bas risque). La couverture optimale des risques majeurs peut alors être envisagée sans que les investisseurs (les réassureurs, mais pas seulement) aient l'information sur le type de l'émetteur (un assureur, une entreprise) du titre de couverture (obligation sur cat-nat, option sur cat-nat, autres).

Dans les deux situations d'asymétrie d'information (risque moral et anti-sélection), le risque de base induit une couverture incomplète. Un assureur se tournera alors vers les marchés financiers pour couvrir ses risques de catastrophe plutôt que vers son réassureur uniquement si le surcoût des primes demandées par le réassureur dépasse les coûts liés à l'incomplétude de la couverture par les marchés financiers. Finken et Laux (2009) montrent que l'existence de couverture alternative place ainsi une limite supérieure sur les primes que peuvent proposer les réassureurs. Il suffit que la menace de se tourner vers les marchés financiers soit crédible pour qu'un assureur soit garanti que la prime proposée par le réassureur est plafonnée (voir aussi Froot, 2001). Ce point fait dire aux auteurs qu'il n'est pas forcément gênant de constater une activité peu développée[10] du marché des actifs ART dans la mesure où sa seule existence a déjà un effet positif sur les conditions de réassurance classique.

## 2. Typologie des actifs art : obligations et options sur cat-nat, captives

### 2.1. Les obligations sur cat-nat

Lancées dans la foulée de l'ouragan Andrew en 1992, les obligations sur cat-nat sont d'abord des obligations, c'est-à-dire des titres de créance donnant droit au paiement d'intérêts – sous forme d'un coupon annuel ou semestriel – et au remboursement à leur échéance du capital prêté. Elles se distinguent des obligations classiques par l'ajout d'une clause de non-remboursement partielle ou totale en cas de survenue de catastrophe naturelle.

(10) Dans les années quatre-vingt-dix, le marché des dérivés de couverture était effectivement peu développé. Cet argument a encore été avancé récemment par Barrieu et Loubergé (2009). Les rapports de Guy Carpenter (2010a et b) nuancent toutefois ce point pour les années récentes.

Elles sont émises par un sponsor – généralement une compagnie d'assurance ou de réassurance – et le capital levé est placé dans un véhicule de titrisation[11], une entité qui prend en charge les risqués transférés.

À partir de là, deux scénarios sont envisageables : soit aucune catastrophe couverte par l'obligation ne survient et celle-ci est remboursée normalement, soit la clause est déclenchée en raison d'indemnisations élevées (supérieures à une valeur seuil d'un indice) et l'investisseur perd tout ou une partie de l'investissement au profit du sponsor et des victimes. Cet effacement de la dette constitue dès lors une couverture par la réduction du passif de l'assureur.

Le contrat d'émission spécifie clairement les conditions sous lesquelles la clause de non-remboursement de l'obligation peut être déclenchée : risque couvert (tremblement de terre, inondations, tempêtes), zone géographique, et amplitude des dégâts. Le montant de ces derniers est spécifié par la valeur d'un indice calculée à l'aide de l'une des quatre méthodes suivantes :

- les indemnisations agrégées de l'industrie de la réassurance pour le risque couvert ;
- les indemnisations supportées par le seul émetteur ;
- à partir d'un modèle estimant les pertes ;
- à partir d'un paramètre mesuré physiquement (échelle de Richter, vitesse du vent…).

Certains contrats mixtes s'appuient sur deux indices.

Le succès des obligations sur cat-nat et leur pérennité dépendent simultanément de la satisfaction des investisseurs en termes de rentabilité et de risque et de la couverture élargie qu'elles offrent aux émetteurs. Nous présenterons successivement l'intérêt des investisseurs pour ces titres et l'amélioration de couverture qu'elles offrent.

### *2.1.1. Une opportunité pour les investisseurs*

Les sommes émises collectées dans le véhicule de titrisation sont placées sur le marché monétaire, où elles sont rémunérées au taux LIBOR qui est l'un des taux de référence. Le taux de coupon servi par l'émetteur des obligations sur cat-nat doit compenser le risque encouru par le souscripteur. De fait, la plupart d'entre elles sont de type spéculatif avec une note majoritaire de BB[12] qui prend en compte l'espérance de perte due à la réalisation d'une catastrophe naturelle couverte par ces titres et donc de la perte en capital. Cette espérance de perte connue *ex ante* est issue d'une modélisation du risque de la catastrophe (tremblement de terre, tornade, inondation…).

(11) Le terme anglais que l'on retrouve très souvent dans la littérature est « *Special Purpose Vehicle Reinsurance* » ou SPVR.

(12) La note BB est attribuée par l'agence de notation Standard & Poor's et fait partie des notes dites spéculatives. Historiquement, la probabilité de défaut pour des obligations notées BB est de près de 1 %.

Prenons un exemple pour illustrer ce point. Imaginons une obligation sur cat-nat d'échéance un an. Si la probabilité de l'événement entraînant la perte totale de l'investissement est estimée à 2 %, le taux de coupon servi sera de :

$$Taux\ de\ coupon = LIBOR + (2\ \% \times f)$$

où *f* représente le facteur multiplicatif des pertes potentielles.

Le facteur multiplicatif *f* est toujours supérieur à 1 reflétant ainsi l'aversion au risque de l'investisseur ainsi que les erreurs de modélisation des pertes potentielles(13). Les premières émissions d'obligations sur cat-nat servaient des rémunérations généreuses puisque la marge correspondait à un multiple de 6 de l'espérance de pertes. Avec le développement du marché, celle-ci est plus proche de 2 aujourd'hui, très similaire à la facturation des primes de catastrophe naturelle par les sociétés de réassurance (Cummins, 2008).

La rémunération moyenne reste encore largement supérieure à celle des obligations spéculatives : 7 % en 2011 contre 5 % pour les obligations de même niveau de risque. Enfin, les efforts récents pour placer les titres auprès d'investisseurs individuels ont permis l'accès à un cercle plus large que les seuls investisseurs institutionnels.

Pour la gestion de portefeuille, les catastrophes naturelles présentent un second avantage : leur survenue n'est pas liée à la conjoncture macroéconomique. Sauf à envisager un événement dramatique d'une ampleur telle que la croissance mondiale en serait affectée, les événements naturels sont indépendants de la performance boursière des actions. En termes de diversification, la corrélation avec les rendements des autres véhicules de placement est proche de 0. Ainsi, les obligations sur cat-nat permettent de réduire significativement le risque global d'un portefeuille à la fois en raison de leur faible corrélation et de leur faible volatilité intrinsèque (3 % contre 5 pour les obligations traditionnelles en 2011). Certains préconisent alors de les intégrer à hauteur de 2 % dans les fonds de pension(14).

### *2.1.2. Une amélioration de l'offre de couverture*

Comme nous l'avons expliqué dans la section 1, l'émission de titres financiers – à la place de contrats de réassurance – introduit le risque de base, c'est-à-dire une couverture imparfaite des risques en cas de sinistre. En réalité, ce risque de base est nécessaire pour réduire le risque moral et donc les frais de transaction. Or, ces frais de transaction sont particulièrement élevés pour la couverture de catastrophes naturelles (Froot, 2001). En effet, lorsqu'un ouragan ou un tremblement de terre se déclare, les assureurs n'ont pas la capacité d'inspecter et de négocier les règlements de sinistres de

(13) Si le modèle est fiable à 100 %, ce qui est irréaliste, et si l'investisseur est neutre au risque, le facteur multiplicatif est égal à 1.

(14) http://www.mindfulmoney.co.uk/ ?lid=8394

manière exhaustive et précise. Avec un contrat de réassurance, les incitations à contrôler correctement les déclarations des assurés sont moins efficaces. De fait, l'assureur peut être tenté de s'arranger avec les assurés pour un dédommagement généreux, les excès de règlements étant pris en charge par le réassureur(15). Ce risque moral *ex post* est particulièrement difficile à contrôler pour les catastrophes naturelles et doit être contenu au mieux.

En cas d'émission de cat-bonds, les efforts de prévention et de règlements de sinistres *ex post* sont quasi intégralement récompensés. Sauf à imaginer que les pertes d'un assureur contribuent à une part importante d'un indice (par exemple les pertes sectorielles cumulées), chaque euro investi en prévention ou chaque euro économisé en règlement de sinistres améliorera le résultat de la société d'assurance d'un montant presque équivalent. Les règlements généreux en cas de sinistres – qui visent donc à réduire parallèlement les frais de gestion – ne sont plus que marginalement ou imparfaitement pris en charge par l'effacement de la dette.

Le risque de base peut, en réalité, être limité. La multitude des indices permet à l'assureur de trouver une cat-bond dont l'indice sectoriel est représentatif de ses propres pertes sans que le risque moral augmente substantiellement. En somme, les obligations sur cat-nat autorisent des arbitrages favorables entre risque de base et aléa moral.

Enfin, par rapport aux *options* sur catastrophes naturelles présentées plus loin et les contrats de réassurance basiques, la réduction drastique du risque de défaut est le principal avantage des cat-bonds. En substance, elles sont similaires à un contrat de réassurance par lequel le réassureur ouvre un compte sur marge alimenté à hauteur des pertes maximales (Froot, 2000). Lakdawalla et Zanjani (2012) font toutefois remarquer que cette collatéralisation totale de l'obligation sur cat-nat est une limite pour le développement de ce marché. En effet, les capitaux mobilisés sont plus élevés que pour certaines techniques de réassurance par lesquelles le réassureur peut utiliser un même collatéral pour plusieurs clients et risques, pourvu que les risques couverts soient faiblement corrélés et les risques de défaut des cédants similaires.

### *2.1.3. Le développement des marchés de cat-bonds*

En 1997, la capitalisation totale des obligations sur cat-nat sur le marché était de 1 milliard de dollars. En 2012, elle est passée à 15 milliards. Si cela représente encore des montants modestes en regard de l'ensemble du marché obligataire, certains experts estiment que ce marché va continuer à croître rapidement dans les années à venir(16). Les sociétés d'assurance et de réassurance y trouvent également leur compte. La maturité et l'expertise

(15) Sans compter que le législateur exerce souvent une forte pression sur les assureurs pour des règlements rapides en cas de catastrophe naturelle.

(16) Certaines estimations font état d'un doublement de l'encours d'ici 2016. Voir http://www.investir.fr/infos-conseils-boursiers/actus-des-marches/infos-marches/les-cat-bonds-un-actif-decorrele-et-remunerateur-415870.php

croissantes des intervenants contribuent à la transparence du marché. Les modélisations plus précises des risques fiabilisent les calculs des indices. La première émission dont la perte partielle du capital a été reconnue publiquement (Kamp Re 2005 Ltd émis par Zurich Financial) a connu un règlement qui s'est passé en douceur entre le sponsor et les investisseurs. Ce précédent a renforcé de fait la confiance des émetteurs et des souscripteurs pour les émissions ultérieures. Plus récemment, l'obligation cat-nat Muteki a été émise par Munich Re pour couvrir le risque de tremblement de terres au Japon. Le capital a été totalement perdu en 2011(17).

#### *2.1.4. La couverture du risque de tremblement de terre en Californie*

Le premier type de risque naturel couvert par un support ART est le risque de tremblement de terre en Californie. Cet État a rendu l'assurance catastrophes naturelles obligatoire pour les propriétaires fonciers et, de ce fait, se doit de proposer une offre de couverture adaptée. Le tremblement de terre de Northridge au Nord de Los Angeles en 1994, d'amplitude 6,7 (soixante morts), a montré les faiblesses de cette offre dans le cas d'un événement extrême. Pour y remédier, l'État californien a alors décidé de créer la *California Earthquake Authority*, entité publique mais financée par des fonds privés dont un des objectifs est de proposer des contrats de couverture du risque de tremblement de terre. L'architecture globale de couverture de ce risque en Californie est organisée en tranches successives. La première concerne les tremblements de terre qui génèrent des dommages (assurables) jusqu'à 4 milliards de dollars, et est financée par les assureurs privés. La seconde concerne les dommages entre 4 et 6 milliards, pour lesquels la couverture par la réassurance est sollicitée. L'État californien intervient au niveau de la 3e tranche, au travers d'un emprunt d'État contracté pour couvrir les pertes comprises entre 6 et 7 milliards. Le marché des ART intervient enfin en complément, sur les dommages compris entre 7 et 8,5 milliards de dollars, au travers de l'émission par l'État californien d'obligations sur cat-nat. Ces titres, appelés titres ERB pour *Earthquakes Risk Bonds*, ont une maturité de dix ans et un coupon semestriel. Le contrat stipule qu'en cas d'événement de catastrophe dont les dommages dépassent 7 milliards à une date donnée, le souscripteur de l'obligation sur cat-nat renonce à tous les coupons entre cette date et la date finale. Le capital reste garanti mais les intérêts non versés permettent à l'État californien de compléter les indemnités versées par les tranches assurance et réassurance.

### 2.2. Les options sur cat-nat

Les options sur cat-nat sont assimilables à des options financières classiques mais dont le sous-jacent est un paramètre non financier, comme une température, un niveau de sévérité d'un tremblement de terre sur l'échelle de Richter, une vitesse de vent, ou un montant de dommages enregistré par

(17) http://www.artemis.bm/blog/2011/05/07/muteki-ltd-catastrophe-bond-triggered-by-japan-earthquake-confirmed-as-total-loss/

le secteur de l'assurance suite à un événement naturel. L'acheteur d'une option d'achat sur indice de dommages par exemple paie une prime au vendeur de l'option et, si une catastrophe survient, exerce l'option qui lui permet d'acheter l'indice au prix déterminé par les dommages assurables enregistrés. De ce fait, l'acheteur gagne sur le marché financier au moment où il perd sur le marché physique, et peut ainsi compléter (s'il s'agit d'un État, par exemple) la couverture proposée par les assureurs et réassureurs de l'État[18].

Tout comme les obligations sur cat-nat, l'objectif des options sur cat-nat est d'améliorer la couverture des risques majeurs, mais également de réduire les coûts liés au risque moral. En effet, un risque de base existe également pour ce type d'actifs du fait de la correspondance imparfaite entre les dommages d'un assureur, ou cédant, donné et le montant (d'un secteur, d'une région) pris en compte par l'indice. De la même manière, si l'indice est plutôt basé sur une température et mesure, par exemple, un déficit de chaleur dans une région donnée, les pertes de l'entreprise assurée ou de l'assureur-cédant ne seront pas parfaitement corrélées avec celles calculées à partir de l'indice, la température pouvant varier au sein même de la région considérée.

Un autre avantage de l'option sur catastrophe naturelle tient à la possibilité de la combiner avec une obligation sur cat-nat. Elle permet ainsi d'améliorer la liquidité du marché des obligations sur cat-nat dans la mesure où le souscripteur d'une obligation cat-nat peut se couvrir contre le risque de défaut de l'émetteur (un assureur, un État en quête de couverture) en achetant une option sur cat-nat. Si une catastrophe naturelle survient, il perd le capital prêté à l'émetteur de l'obligation sur cat-nat, mais il encaisse un certain montant du fait de l'exercice de son option d'achat sur l'indice cat-nat.

En revanche, les options sur cat-nat présentent elles-mêmes un risque de défaut du vendeur de l'option. En effet, les techniques habituelles en usage pour les options financières (versement d'un dépôt de garantie, appels de marge) sont moins efficaces pour les catastrophes naturelles. Les fonds de sécurité versés au Chicago Mercantile Exchange Group[19] ne permettent pas de couvrir les plus grandes catastrophes. D'autre part, par leur nature même, les indices suivent des trajectoires discontinues, rendant les techniques de « *mark-to-market* »[20] moins efficaces.

(18) Reprenons ici l'exemple de l'indice décrit dans la note 5. Si l'état ayant acheté une option d'achat sur cet indice a négocié la valeur du point à 1 000 000 de dollars, il gagnera, en exerçant son option d'achat de l'indice, 1 000 000 multiplié par le nombre de point qu'aura pris l'indice. Cette somme permettra à l'état concerné de participer à l'indemnisation des victimes.

(19) Le Chicago Mercantile Exchange Group est né de l'absorption du Chicago Board of Trade (le premier à avoir coté des options sur indice cat-nat) par le Chicago Mercantile Exchange en 2007.

(20) Celles-ci consistent à calculer en fin de journée les pertes potentielles des vendeurs d'options et à faire des appels de marge journaliers en fonction du cumul des pertes. Le versement du dépôt de garantie et des appels de marge successifs élimine ainsi le risque de défaut du vendeur d'options traditionnelles.

### 2.2.1. Les indices existants

Il existe aujourd'hui plusieurs types d'indices construits sur la base de paramètres non financiers. Citons l'indice NextWeather créé en 2002 par EuroNext et Météo France, dont le calcul est basé sur une température. Des versions régionales et des versions nationales coexistent sur le marché des dérivés.

Les indices HDD et CDD proposés par les marchés américains servent également de support à des options sur indice. L'indice CDD (pour *Cooling Degree Day*) mesure un excédent de chaleur (température moyenne journalière anormalement élevée pour la saison), tandis que l'indice HDD (pour *Heating Degree Day*) mesure un déficit de chaleur. Le CDD correspond ainsi à la différence entre la température journalière, lorsqu'elle excède 65 degrés Fahrenheit(21), et ces 65 degrés. Si la température moyenne journalière est inférieure à 65 degrés Fahrenheit, l'indice CDD vaut zéro et c'est l'indice HDD qui prend une valeur positive(22). Ainsi, des entreprises du secteur du tourisme peuvent se couvrir contre des moyennes de température ne reflétant pas la tendance attendue en achetant des options sur l'un ou l'autre de cet indice. Un groupe hôtelier qui aura développé le tourisme à la neige peut être intéressé par le CDD tandis que le HDD peut être intéressant pour une chaîne de restauration balnéaire.

Une entreprise agroalimentaire peut être intéressée par ces indices, et également par l'indice GDD (*Growing Degree Day*), plus sophistiqué, qui mesure un niveau d'hygrométrie et d'ensoleillement par comparaison avec ceux nécessaires au bon développement d'une plante. Aux côtés de ces indices de températures existent également des indices sur précipitations(23).

Ces indices ne reflètent toutefois pas des catastrophes en tant que telles(24), mais plutôt une tendance de température non conforme à une moyenne attendue. Des indices sur catastrophes existent et sont cotés, pour la plupart, au Chicago Mercantile Exchange Group. L'indice Guy Carpenter, par exemple, est basé sur les pertes des compagnies d'assurance suite à un événement catastrophique. Son dénominateur correspond aux primes d'assurance versées et son numérateur aux indemnités versées dans une région donnée. L'indice RMS est calculé à l'aide de modèles de sévérité. Si ce dernier ne peut être influencé par les comportements des assureurs, l'indice Guy Carpenter peut en revanche prendre différentes valeurs selon la rapidité de l'indemnisation mise en place par les assureurs. Il est, en effet, actualisé tous les trimestres.

(21) Soit 18,3 degrés Celsius.

(22) Le CDD correspond plus précisément aux degrés nécessaires pour refroidir un logement à l'aide de la climatisation par exemple (65 degrés étant la température de référence), tandis que le HDD correspond aux degrés nécessaires pour le réchauffer.

(23) Pour plus de détails sur ces indices, on peut se référer à l'article de Charpentier (2002) ou à celui de Miranda et Vedenov (2001).

(24) Ils peuvent toutefois être utilisés aussi pour couvrir certaines catastrophes. Pensons à une calamité agricole suite à un événement sécheresse exceptionnel ou au nombre important de décès dû à un événement canicule comme celui de 2002.

## 2.3. Les captives

Le risque peut être transféré ou bien être retenu au sein d'une entreprise. Dans les deux cas, l'objectif est de garantir la disponibilité de fonds en cas d'événements indésirables. La rétention du risque peut être gérée à travers une captive :

« Une captive est une compagnie d'assurance entièrement détenue par une société d'un autre secteur (que l'assurance) et qui assure la couverture pour des risques de la société parente et de ses filiales » (traduit de Wöhrmann et Bürer 2002).

Le risque peut alors soit être retenu au sein de l'entreprise soit transféré à sa captive. Plusieurs raisons expliquent l'émergence des captives. Les niveaux élevés des primes demandées par des assureurs sur un marché concentré de la couverture des catastrophes sont une première explication. La seconde tient à l'absence d'offre adéquate de couverture de certains risques. La troisième est relative à l'optimisation fiscale recherchée par les entreprises. Les captives peuvent, en effet, être domiciliées dans des pays à fiscalité avantageuse. Ce dernier avantage s'est toutefois fortement atténué suite au durcissement des législations en la matière(25).

### *2.3.1. Avantages et limites*

Comme pour les autres formes d'assurance non conventionnelles, le moteur de leur création a été et reste la réduction des coûts pour des risques difficiles à appréhender par les assureurs – en raison de leur distribution ou de la spécificité du risque – et donc souvent trop facturés. Cette forme d'auto-assurance fonctionne car le risque est étalé dans le temps et à travers les différentes entités d'un groupe. Les bénéfices les plus substantiels résident dans la disparition de conflits entre assurés et assureurs. Mais comme l'assuré a un intérêt évident dans la réduction des sinistres, les captives stimulent également les bonnes pratiques en termes de prévention de risque. En particulier, la gestion centralisée des risques au niveau d'un groupe permet d'élaborer des fichiers de statistiques fiables utiles pour des mesures plus précises et *in fine* une amélioration constante de la gestion des risques.

Les primes ainsi accumulées permettent à leur tour de dégager des bénéfices par rapport aux couvertures traditionnelles dont les primes d'assurance et de réassurance sont très cycliques (avec en particulier une hausse substantielle suite à des catastrophes majeures).

Un autre avantage de la captive réside dans la possibilité pour l'entreprise de faire varier son risque retenu (et donc le risque transféré à la captive) assez facilement, notamment lorsqu'elle recherche des fonds à investir dans de nouveaux projets par exemple.

(25) Certains tribunaux, notamment aux États-Unis, ont jugé que transférer ses risques à une filiale dont l'activité principale était la couverture exclusive du risque de sa société parente ne correspondait pas à une activité d'assurance au sens de la diversification des risques.

La captive doit toutefois respecter les contraintes de solvabilité du secteur de l'assurance et être capable de faire face aux paiements d'indemnités d'un point de vue actuariel ; les besoins en capitaux peuvent donc être conséquents et être à l'origine de coûts d'opportunités élevés. La diversification du risque est limitée par la taille de la société et ses activités. Cette contrainte est aussi un facteur déterminant du niveau de risque conservé par la société parente.

Ainsi pour lancer et pérenniser une captive, la société parente doit maintenir un contrôle strict de ses sinistres, atteindre une taille critique pour amortir ses frais de gestion, mettre à disposition des capitaux suffisants pour faire face à des pertes importantes.

### *2.3.2. Les différentes formes de captives*

La forme la plus directe est celle d'une compagnie d'assurance. Toutefois, en raison des contraintes réglementaires du secteur de l'assurance en termes de capitalisation et de solvabilité notamment, en raison des limites géographiques de l'assurance directe, la plupart des captives positionnent leurs activités au niveau de la réassurance. Ce secteur est moins régulé et bénéficie des législations moins exigeantes des domiciliations *off-shore* (ainsi que de leur faible fiscalité). Plus précisément, la compagnie parente s'assure auprès d'un assureur local ou « *fronter* » qui lui-même rétrocède une partie des risques auprès de la captive de réassurance.

Pour les entreprises de taille intermédiaire, la mise en place d'une captive est souvent trop coûteuse. Une alternative consiste alors à faire appel à une « *rent-a-captive* ». Une société désireuse de tirer profit des captives sans en subir les inconvénients peut ainsi s'appuyer sur l'infrastructure d'une société d'assurance ou de réassurance pour louer une captive. L'assureur ouvre un compte individuel pour son client et définit avec lui les risques à couvrir et la partie couverte par ce client. Les primes versées ainsi que les revenus des investissements sont crédités sur ce compte alors que les frais de gestion et autres dépenses sont débités. Les principaux avantages de la « *rent-a-captive* » sont sa flexibilité, la mutualisation des frais de gestion et l'absence de capitaux à mobiliser. La forme « *rent-a-captive* » peut aussi constituer un tremplin vers la constitution d'une captive pure en nom propre.

Son principal désavantage tient à son risque de contrepartie ainsi que celui des autres participants : si ceux-ci font défaut, la société louant les captives peut être tentée de ponctionner les autres comptes individuels. Cet inconvénient peut être surmonté grâce aux « sociétés à cellules protégées » (SCP)[26]. Chaque cellule, correspondant à une captive louée, est indépendante des autres et les créditeurs de la SCP n'ont aucun droit sur les avoirs financiers logés dans chacune des cellules.

(26) Ces SCP sont également créées pour d'autres usages comme la protection de fonds d'investissement.

### 2.3.3. Exemples de captives

Les captives sont utilisées dans divers secteurs. Nous en retenons deux ici : le secteur des hydrocarbures et celui du nucléaire civil.

Dans le domaine des hydrocarbures, il faut différencier le risque de marée noire lié au transport maritime d'hydrocarbures et les activités de production *off-shore* et *on-shore* des sociétés pétrolières. Dans le premier cas, la communauté internationale dispose de trois conventions internationales qui définissent les responsabilités des différentes parties (armateur, affréteur, assureurs de l'armateur, FIPOL...) suite à une marée noire ainsi que les modalités d'indemnisation des victimes. Cette indemnisation y est notamment organisée au travers de l'alimentation d'un fonds d'indemnisation, le FIPOL, dont les appels à contributions s'adressent à toutes les entreprises pétrolières installées sur le sol des pays signataires des conventions (Schmitt et Spaeter, 2009). Les risques liés aux activités de production *on-shore* et *off-shore* sont exclus des risques couverts par ces conventions internationales et ce sont précisément ces risques qui font l'objet de la création de captives d'assurance par les sociétés pétrolières. La société BP a ainsi créé une captive qui ne s'occupe que de ses propres risques et qui porte le nom de Jupiter Insurance Ltd. Elle couvre les dommages de BP à hauteur de 700 millions de dollars. Ce plafond de couverture est aujourd'hui considéré comme relativement faible face aux risques climatiques et/ou industriels, et laisse la société BP avec un taux élevé de risque retenu. Ce taux, associé à une stratégie de réassurance que les marchés financiers jugent peu développée, est à l'origine de la dégradation récente de sa note par l'agence de notation Standard & Poors. D'autres sociétés, comme Total ou Elf Aquitaine, ont créé en 1972 la captive Oil Insurance Ltd afin de mutualiser leurs risques. Mais très vite, du fait du niveau élevé des franchises, Total a également opté pour la création de sa propre captive, la Omnium Insurance and Reinsurance Co Ltd. Quelques années plus tard, Elf Aquitaine lui emboîte le pas et crée sa captive Alphega Insurance Ltd.

Les captives existent également dans le secteur du nucléaire civil. L'obligation faite aux opérateurs du secteur du nucléaire civil de couvrir leurs risques a conduit les différents pays signataires des conventions de Vienne et de Paris à élaborer une architecture de couverture originale basée sur l'utilisation d'assurance et réassurance classiques ainsi que de captives. Des *pools* nationaux regroupent les fonds des assureurs au niveau national qui servent à couvrir la responsabilité civile. Ces *pools* nationaux peuvent ensuite se réassurer auprès d'autres *pools* nationaux faisant ainsi émerger une couverture réciproque entre États. À titre d'exemple, toutes les compagnies d'assurance couvrant le risque nucléaire à travers le monde ont été sollicitées après l'accident de Three Mile Island en 1979. Ce fut également le cas après Fukushima.

En marge de ce système d'assurance conventionnelle, des captives ont été créées par les opérateurs afin, dans un premier temps, de couvrir spéci-

fiquement le risque matériel. Elles concurrencent aujourd'hui l'assurance et la réassurance traditionnelle sur le terrain de la responsabilité civile. Aux États-Unis, la captive NEIL (Nuclear Electric Insurance Limited) a ainsi été créée en 1980, tandis que l'Europe est à l'origine de la création de la captive EMANI[27] (European Mutual Association for Nuclear Insurance) en 1978[28].

## Conclusion

Nos propos ont porté essentiellement sur la titrisation des risques de catastrophes naturelles dans la mesure où les actifs ART existants sont, pour la plupart, basés sur ce type de risque. Mais il est tout à fait possible d'envisager la création d'indices basés sur des dommages d'un secteur suite à un accident technologique. La difficulté supplémentaire réside dans le fait que les catastrophes industrielles sont dues à l'activité humaine. Le risque est alors que les indices soient manipulés. En ce qui concerne les captives, elles prennent déjà largement en compte le risque industriel de leur société parente.

Cette contribution avait pour objectif de montrer en quoi la titrisation des risques majeurs pouvait améliorer la couverture. Il est parfois avancé que ce complément de couverture est bienvenu notamment lorsque les marchés de l'assurance et de la réassurance ont subi une année difficile suite à un événement majeur particulièrement exceptionnel ou au cumul de plusieurs catastrophes. Cummins et Trainar (2009) soulignent toutefois que les transferts alternatifs de risque devraient être envisagés comme un complément pérenne et indépendant de la conjoncture.

Nous avons également traité de l'apport des captives, ces entités créées par des entreprises pour couvrir exclusivement leurs propres risques. Le fait qu'il n'y ait pas une mutualisation des risques au sein de ces captives aussi forte que celle qui peut prévaloir sur des marchés d'assurance intégrés au niveau européen, voire international, n'est pas un frein à la constitution de telles captives. Les économies en matière de frais de gestion, l'absence de taux de marge en tant que tel, les avantages fiscaux, et la possibilité pour la captive d'être au plus près de la problématique « risque » de l'entreprise dont elle émane semblent lui permettre de compenser largement le point faible de la mutualisation limitée. La création de captives devient alors une stratégie de couverture qui pourrait être considérée comme complémentaire, et non forcément substituable, aux autres stratégies de couverture, qui relèvent de la réassurance classique et/ou de la titrisation.

(27) Elle n'a d'européen qu'une partie de son nom aujourd'hui puisque ses membres sont également des opérateurs nucléaires de pays hors Europe. Précisément, les opérateurs membres d'EMANI sont installés en Belgique, au Canada, en République tchèque, en Finlande, en France, en Hongrie, en Italie, en Slovaquie, aux Pays-Bas, en Afrique du Sud, en Suède, en Suisse et aux États-Unis. Notons que certains opérateurs européens sont également membres de la captive NEIL.

(28) Pour plus de détails, *cf*., par exemple, Schmitt et Spaeter (2007).

Finalement, la titrisation permet l'accès à des sources de financements sans commune mesure avec la couverture apportée par les secteurs de l'assurance et de la réassurance. Les caractéristiques propres des risques à couvrir – en particulier leur faible corrélation avec les autres actifs financiers – sont à même d'attirer un nombre grandissant d'investisseur et contribueront, sans aucun doute, à une couverture élargie des risques de catastrophes naturelles.

## Références bibliographiques


Barrieu P. et H. Loubergé (2009) : « Hybrid Cat-Bonds », *Journal of Risk and Insurance*, vol. 76, n° 3, pp. 547-578.

Cummins J.D. (2008) : « Cat-Bonds and Other Risk Linked Securities: State of the Market and Recent Developments », *Risk Management and Insurance Review,* vol. 11, n° 1, pp. 23-47.

Cummins J.D. et P. Trainar (2009) : « Securitization, Insurance and Reinsurance », *Journal of Risk and Insurance*, vol. 76, n° 3, pp. 463-492.

Cummins J.D. et A. Weiss (2009) : « Convergence of Insurance and Financial Markets: Hybrid and Securitized Risk Transfer Solutions », *Journal of Risk and Insurance*, vol. 76, n° 3, pp. 493-545.

Doherty N. (1997) : « Innovations in Managing Catastrophe Risk », *Journal of Risk and Insurance*, vol. 64, n° 4, pp. 713-718.

Doherty N. (2000) : « Innovation in Corporate Risk Management: The Case of Catastrophe Risk » in *Handbook of Insurance*, Dionne (ed.), Huebner International Series on Risk, Insurance and Economic Security vol. 22, pp. 579-605.

Doherty N. et A. Richter (2002) : « Moral Hazard, Basis Risk and Gap Insurance. », *Journal of Risk and Insurance*, vol. 69, n° 1, pp. 9-24.

Doherty N. et K. Smetters (2002) : « Moral Hazard in Reinsurance Markets », *NBER Working Paper*, n° 9050.
Disponible sur http://www.nber.org/papers/w9050

Finken S. et C. Laux (2009) : « Catastrophe Bonds and Reinsurance : The Competitive Effect of Information Insensitive Triggers », *Journal of Risk and Insurance*, vol. 76, n° 3, pp. 463-492.

Froot K. (2001) : « The Market for Catastrophe Risk: A Clinical Examination », *Journal of Financial Economics*, vol. 60, n° 2-3, pp. 529-571.

Guy Carpenter Report (2010a) : *Reinsurance Market Review 2010*, mars.
Disponible sur http://www.guycarp.com

Guy Carpenter Report (2010b) : *2010 World Catastrophe Report*, septembre. Disponible sur http://www.guycarp.com

International Association of Insurance Supervisors (2012) : *Global Insurance Report*.

International Association for the Study of Insurance Economics (2011) : *Global Industry Fact Sheet Report*.

Klein R. et S. Wang (2009) : « Catastrophe Risk Financing in the United States and the European Union: A Comparative Analysis of Alternative Regulatory Approaches », *Journal of Risk and Insurance*, vol. 76, n° 3, pp. 607-637.

Lakdawalla D. et G. Zanjani (2012) : « Catastrophe Bonds, Reinsurance, and the Optimal Collateralization of Risk Transfer », *Journal of Risk and Insurance*, vol. 79, n° 2, pp. 449-476.

Litzenberger R., D. Beaglehole et C. Reynolds (1996) : « Assessing Catastrophe Reinsurance-Linked Securities as a New Asset Class », *Journal of Portfolio Management*, n° 23, pp. 76-86.

Miranda M. et D.V. Vedenov (2001) : « Innovations in Agricultural and Natural Disaster Insurance », *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 83, n° 3, pp. 650-655.

Niehaus G. et S. Mann (1992) : « The Trading of Underwriting Risk: An Analysis of Insurance Futures Contracts and Reinsurance », *Journal of Risk and Insurance*, vol. 59, n° 4, pp. 601-627.

Rothschild M. et J. Stiglitz (1970) : « Increasing Risk: I. A Definition », *Journal of Economic Theory*, vol. 2, n° 3, pp. 225-243.

Rothschild M. et J. Stiglitz (1971) : « Increasing Risk : II. Its Economic Consequences », *Journal of Economic Theory*, vol. 3, n° 1, pp. 66-84.

Schmitt A. et S. Spaeter (2007) : « Risque nucléaire civil et responsabilité optimale de l'opérateur », *Revue Économique*, vol. 58, n° 6, pp. 1331-1351.

Schmitt A. et S. Spaeter (2009) : « Hedging Strategies and the Financing of the International Oil Pollution Compensation Funds », *International Journal of Global Energy Isssues*, vol.31, n° 3/4, pp. 310-330.

Schmitt A. et S. Spaeter (2012) : *Obligations sur catastrophe naturelles : qui y gagne ?* Disponible sur http://www.fairhedge.fr/sources/source2/obligations-sur-catastrophes-naturelles-qui-y-gagne

Wöhrmann P. et C. Bürer (2002,) : « Captives » in *Alternative Risk Strategies*, Lane (ed.) Risk Waters Group Ltd.

Complément E

# Les évolutions de la doctrine française de sûreté nucléaire

**Philippe Saint Raymond**

*Groupe permanent chargé des laboratoires et usines et Groupe permanent chargé des réacteurs*

La doctrine française de sûreté nucléaire, et la façon de contrôler son application, se sont bâties progressivement au fur et à mesure du développement des activités nucléaires, et particulièrement de l'implantation des réacteurs électronucléaires. Les grands accidents qui ont marqué l'histoire du nucléaire mondial, particulièrement Three Mile Island en 1979 et Tchernobyl en 1986, ont été l'occasion de remettre en cause certaines approches et de faire évoluer la doctrine. L'accident de Fukushima, survenu en 2011, nous interpelle à son tour et va certainement être l'occasion de compléter et d'infléchir la doctrine ; l'effort de réflexion correspondant est encore en cours, et il serait prématuré de prétendre dès aujourd'hui tirer des conclusions définitives.

Avant d'examiner la doctrine de sûreté proprement dite, on examinera comment a progressivement émergé l'idée d'une autorité de contrôle de la sûreté nucléaire indépendante, et comment cette autorité s'est construite. On exposera ensuite les grandes lignes de la doctrine de sûreté française. Un éclairage sera donné sur les apports de l'analyse probabiliste, qui de plus en plus se surajoute, sans s'y substituer, à l'approche déterministe initiale. Une analyse comparée des approches de sûreté française et américaine sera esquissée. Enfin, un éclairage sera donné sur l'état actuel des réflexions post-Fukushima, et des compléments qu'elles pourraient apporter à l'approche de sûreté française.

## 1. L'évolution du contrôle de la sûreté

Les dangers dus à la radioactivité ont été mis en évidence de façon très précoce : si les rayons X ont été découverts en 1895, et la radioactivité en 1896, c'est en 1902 qu'aurait été constaté le premier cancer radioinduit. La protection contre ces effets indésirables est apparue nécessaire, mais dans un premier temps la radioactivité restait dans les laboratoires, où les chercheurs avaient une âme de pionniers, et ne se souciaient guère des risques auxquels ils exposaient leur santé, voire s'en faisaient gloire. Après la Première guerre mondiale, la radioscopie fut d'une grande aide pour détecter les éclats d'obus dont nombre de soldats étaient criblés ; les appareils employés, dont la protection était plus que rudimentaire, irradièrent gravement les médecins qui les utilisaient, ouvrant ainsi le « *glorieux martyrologe du radium et des rayons X* ». C'est à cette époque que fut créée la Commission de protection contre les rayons X, devenue par la suite Commission internationale de protection radiologique (CIPR), commission sans véritables pouvoirs réglementaires qui se contentait de promouvoir des bonnes pratiques.

L'entrée du nucléaire dans le domaine industriel devait nécessiter le recours à un système de protection plus élaboré. La mise en évidence de la possibilité d'une réaction en chaîne, qui fut réalisée pour la première fois par Fermi à Chicago en 1942, imposa de prendre des mesures de sûreté sérieuses (même si la première « divergence » fut réalisée dans des conditions très artisanales). En France, le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) fut créé en 1945, avec la double vocation de mener des recherches et d'établir des installations industrielles. Tant qu'il ne s'agissait que de travail de laboratoire, le risque lié à la radioactivité fut traité comme les risques classiques du travail : schématiquement, chaque travailleur était responsable de sa propre sécurité. La réalisation des premiers réacteurs (ZOE en 1948, puis EL1 et EL2 en 1951, sur lesquels survinrent quelques incidents de radioprotection) amena à créer un service particulier, le Service de protection contre les radiations (SPR), bientôt scindé en deux services distincts, l'un s'occupant de radioprotection (protection du personnel contre les effets des radiations), l'autre de sûreté nucléaire (prévention des accidents sur les installations). Mais le SPR n'avait qu'un rôle de conseil, et non d'autorité, auprès des exploitants des installations. Un nouveau pas fut franchi en 1960, avec la création de la Commission de sûreté des installations atomiques, interne au CEA, qui était chargée de définir des normes de sûreté, de délivrer des licences pour les nouvelles installations, et de vérifier la conformité des réalisations aux licences délivrées.

Les rayonnements ionisants étaient mis en œuvre au CEA, mais également à l'extérieur, notamment dans des installations industrielles (contrôle radiographique des soudures par exemple) ou médicales (radiographie, et de plus en plus radiothérapie). Pour réglementer ces activités, une Commission interministérielle des radioéléments artificiels (CIREA) fut créée en 1952 avec pour mission de réglementer et contrôler l'utilisation des sources radioactives hors du CEA, et surtout un Service central de protection contre

les radiations ionisantes (SCPRI) fut créé en 1956 au sein de l'Institut national d'hygiène (devenu par la suite INSERM). Le SCPRI s'attacha d'abord à améliorer les pratiques des radiologues, notamment en faisant remplacer la radioscopie par la radiographie. Ensuite, il utilisa le système de la CIREA pour contrôler l'utilisation des sources radioactives en milieu médical. Lorsque la notion d'installations nucléaires de base (INB) fut introduite en droit français, le SCPRI y assura aussi le contrôle de la radioprotection, et en particulier des rejets radioactifs.

C'est en 1961 que fut créée la notion d'INB, par un article inséré dans une loi relative à la pollution atmosphérique et aux odeurs, qui demeura longtemps le seul support législatif de l'action administrative en matière de sûreté nucléaire. Cette création était rendue nécessaire par l'application de dispositions européennes (traité Euratom, et convention de Paris sur la responsabilité civile nucléaire). Le biais de la loi sur la pollution atmosphérique fut choisi car cette loi avait pour cible des installations sources de nuisances (pollution atmosphérique en l'occurrence) qui ne pouvaient pas être soumises à la loi de 1917 sur les « établissements classés » insalubres incommodes et dangereux ; tel était également le cas des installations nucléaires, qui ne pouvaient pas être des établissements classés parce que leur exploitant, le CEA, n'avait pas le caractère industriel et commercial. La loi de 1961 fut précisée par un décret d'application de 1963, qui définissait les INB, les soumettait à autorisation par décret, sans au départ prévoir de réglementation technique générale, et confiait leur inspection à des inspecteurs des établissements classés, ainsi qu'aux agents du SCPRI pour la radioprotection. Aucun moyen, aucune structure d'État n'était prévu pour assurer le fonctionnement du système, qui restait confié au CEA, exploitant de l'ensemble des installations nucléaires existant alors.

C'est l'arrivée d'un nouvel exploitant nucléaire, Électricité de France (EDF), qui amena à modifier et à compléter le système. Il fut jugé (en particulier par EDF) qu'il n'était pas opportun de faire contrôler un établissement public de l'État (EDF) par un autre (le CEA). Il fut donc décidé de créer un service dépendant directement de l'État, le Service central de sûreté des installations nucléaires (SCSIN), placé auprès du directeur de la technologie, de l'environnement industriel et des mines (DITEIM) du ministère de l'industrie. Le nouveau service était chargé de mener les procédures d'autorisation des INB, de développer une réglementation technique générale de ces installations, d'organiser leur inspection, et de jeter les bases d'une organisation en cas de crise..

Le SCSIN avait, par son existence même, la vertu d'attester que c'était l'État qui contrôlait le monde nucléaire, et non pas ce monde qui se contrôlait lui-même, comme c'était le cas auparavant. Mais il avait encore besoin de s'affirmer, et d'acquérir une véritable indépendance à l'égard tant des exploitants nucléaires que des services de l'État assurant leur tutelle qui avaient un rôle de promotion, plus que de contrôle, de ce secteur. Comme peu de moyens nouveaux purent être affectés dans l'immédiat à ce nouveau

service, il continua à s'appuyer largement sur les moyens techniques et humains du CEA, et sur les groupes d'experts, progressivement élargis à des personnes n'appartenant pas au CEA, au sein desquels s'élaborait la doctrine de sûreté. Il ne conquit une certaine liberté de moyens que lorsque la loi de finances rectificative pour 1975 institua une redevance sur les installations nucléaires de base dont le produit, rattaché par voie de fonds de concours au budget du ministère de l'industrie, lui permit d'étoffer ses effectifs et son fonctionnement indépendamment des apports du CEA (qui demeurèrent cependant présents sous forme de mise à disposition – rémunérée – de personnel, pour des raisons de compétence technique). Le SCSIN devint en 1991 une direction du ministère de l'industrie, la direction de la sûreté des installations nucléaires (DSIN), ce qui lui donna la possibilité de faire valoir directement ses vues, en cas de besoin, auprès du ministre et de son cabinet.

Une autre faiblesse du système, quant à l'indépendance souhaitée pour le service de contrôle, était son rattachement au ministère de l'industrie. Ce ministère avait en effet, entre autres tâches, celle de la promotion du nucléaire. Même si on avait pris soin de créer le SCSIN non pas à l'intérieur de la direction générale de l'énergie et des matières premières, qui était chargée de cette promotion, mais au sein de la direction des mines, plus habituée à des tâches de contrôle, il pouvait y avoir des conflits d'intérêts au sein du ministère, dont le service de contrôle ne sortait pas systématiquement gagnant. Un contre-pouvoir fut progressivement instauré en mettant le SCSIN puis la DSIN, toujours rattachés hiérarchiquement au ministère de l'industrie, à la disposition du secrétariat d'État puis du ministère chargé des risques et de l'environnement, qui défendait des intérêts différents de celui du ministère de l'industrie. Ce fut ensuite un rattachement conjoint, entièrement symétrique, aux deux ministres chargés respectivement de l'industrie et de l'environnement.

À l'occasion de divers remaniements ministériels, la DSIN acquit successivement la compétence en matière de contrôle des transports de matières radioactives, abandonnée par le ministère des transports, puis en matière de contrôle de la radioprotection, par fusion avec une partie de l'Office de protection contre les radiations ionisantes (OPRI), héritier de l'ancien SCPRI, devenant ainsi la direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection (DGSNR), rattachée aux trois ministres chargés de l'industrie, de l'environnement et de la santé. Il est à noter que, lors de ces deux extensions de compétence, la DSIN puis la DGSNR se sont vues confrontées à des situations de crise : crise de contamination des transports radioactifs en 1998, accidents de radiothérapie en 2005-2006, dont le traitement fit apparaître et renforça l'image d'indépendance de l'autorité de contrôle.

La dernière transformation du système de contrôle fut opérée par la loi de juin 2006 sur la transparence et la sécurité nucléaires. Cette loi établit pour le contrôle des risques liés aux rayonnements une autorité indépendante du Gouvernement, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), dirigée par un collège de cinq membres nommés de façon inamovible par le Président

de la République, le président de l'Assemblée nationale et le président du Sénat. Elle réforme et complète en outre le régime des INB. Elle institue des dispositions visant à assurer une bonne transparence en matière de sûreté nucléaire. La première réunion du collège de l'ASN, en novembre 2006, a permis au nouveau système de démarrer, sur la base bien entendu des moyens et des compétences de la DGSNR.

## 2. La doctrine de sûreté nucléaire française

La doctrine française de sûreté nucléaire s'applique bien entendu à l'ensemble des installations sous le contrôle de l'ASN ; pour l'exposer de façon concrète, on parlera ici principalement des réacteurs électronucléaires, qui sont les installations les plus importantes et présentant les plus gros risques.

Le CEA avait développé lui-même une filière de réacteurs dite uranium naturel-graphite-gaz. Cette filière avait certains avantages, en particulier celui de ne pas nécessiter un enrichissement de l'uranium naturel, opération lourde et coûteuse, avant son introduction dans le combustible nucléaire, et celui de donner lieu à des réacteurs très « pardonnants », où des amorces d'accidents ne se propagent pas rapidement : c'est ainsi que, sur des réacteurs de cette filière, à Saint-Laurent-des-Eaux, on a connu à quelques années d'intervalle deux fusions localisées de cœur, qui n'ont eu que des conséquences négligeables à l'extérieur et n'ont pas empêché les réacteurs de redémarrer, après un nettoyage sérieux. Le CEA avait développé, en interne, une doctrine de sûreté relative à cette filière.

Pour des raisons essentiellement économiques, cette filière fut abandonnée au profit de celle des réacteurs à eau sous pression (REP). Les experts français n'ayant pas participé au développement de cette filière, EDF fut contraint de s'équiper de réacteurs construits par un constructeur franco-américain basé en France, Framatome, sur la base d'une licence achetée au concepteur américain Westinghouse. Ces réacteurs étaient bien entendu équipés des systèmes de sûreté développés par Westinghouse ; de ce fait, on peut dire que la sûreté des premiers REP français fut « achetée » en même temps que la licence. Cependant, les experts français mirent un point d'honneur à ne pas entériner aveuglément les dispositions américaines, mais demandèrent la démonstration que les réacteurs projetés respectaient les règles de sûreté françaises (d'ailleurs non écrites). Cette démonstration fut longue et difficile à apporter, car les réacteurs américains n'avaient pas été conçus dans cette optique : il fallut une quarantaine de réunions du groupe permanent « réacteurs » avant que pût être autorisé le premier chargement de Fessenheim 1, premier réacteur de la série des réacteurs à eau sous pression implanté en France. Mais ce délai fut précieux et constructif pour l'élaboration et l'explicitation de la doctrine de sûreté française.

Le premier principe de cette doctrine est la responsabilité première de l'exploitant d'une installation nucléaire : c'est à lui-même, s'il peut s'ap-

puyer pour cela sur certains prestataires, en particulier sur le concepteur et le constructeur de l'installation, qu'il revient de démontrer la sûreté de son installation. Trois documents lui sont demandés en particulier pour attester de cette sûreté :

- le rapport de sûreté, qui porte principalement sur la conception de l'installation, et qui doit montrer que l'installation reste sûre dans toutes les circonstances envisageables. Le rapport de sûreté doit être fourni à un stade préliminaire avant l'autorisation de création de l'installation, puis mis à jour à un stade dit provisoire au moment de son démarrage, enfin se transformer en un rapport définitif (mais toujours susceptible de mises à jour) après un certain retour d'expérience de fonctionnement ;
- les règles générales d'exploitation, qui décrivent la façon dont l'installation devra être exploitée pour obtenir la sûreté prévue ;
- le plan d'urgence interne, qui décrit les dispositions que prendra l'exploitant en cas d'accident survenant sur l'installation. Ce plan doit être doublé d'un plan particulier d'intervention, qui est de la responsabilité non pas de l'exploitant mais du préfet local, et qui comportera, lui, les dispositions mises en œuvre en pareil cas par les pouvoirs publics.

Les documents demandés à l'exploitant donnent lieu bien entendu à un examen par l'Autorité de sûreté nucléaire, qui dialogue avec le futur exploitant pour l'amener le cas échéant à les aménager et à les modifier. Dans ce dialogue, l'ASN est assistée par des organismes qui constituent ses appuis techniques :

- l'IRSN, héritier des services sûreté internes au CEA mais organisé depuis 2002 en établissement public indépendant, où est concentrée la plus grande partie de l'expertise française en sûreté nucléaire ;
- les groupes permanents d'experts, regroupant à titre personnel des experts venant d'horizons divers (IRSN, administration, exploitants nucléaires, experts de domaines particuliers hors nucléaire…). Ces groupes sont placés auprès de l'ASN, qui les saisit sur les problèmes de sûreté les plus importants, comme la création ou la mise en exploitation d'une nouvelle installation.

Un principe important qui régit la sûreté nucléaire est celui de la défense en profondeur. Les conséquences d'un accident sur une installation nucléaire peuvent être d'une telle envergure que l'accident grave doit absolument être évité. Il ne suffit pas évidemment pour cela qu'il existe un système de sûreté pour faire face à toute défaillance : un système de sûreté peut lui-même tomber en panne. On a donc développé en matière nucléaire, comme également d'ailleurs dans d'autres activités à risques, le concept de défense en profondeur : pour prévenir les effets nocifs des accidents, plusieurs lignes de défense doivent être prévues à la conception de l'installation, une ligne de défense étant sollicitée dès que la ligne précédente s'avère défaillante.

On peut ainsi distinguer successivement les lignes de défense visant à :

- réguler le fonctionnement normal de l'installation, en prévenant les incidents qui la feraient sortir du domaine autorisé ;
- gérer les incidents qui surviendraient néanmoins, en empêchant qu'ils ne dégénèrent en accidents ;
- maîtriser les accidents éventuels, pour les maintenir dans les limites prévues à la conception ;
- gérer les accidents dits graves, qui amèneraient l'installation à sortir de ces limites ;
- gérer les situations de crise correspondant à des accidents dont les conséquences risquent de sortir des frontières de l'installation. Ce dernier niveau de la défense en profondeur implique non seulement l'exploitant, mais également les pouvoirs publics.

Une autre déclinaison de la défense en profondeur, dans les réacteurs nucléaires, est donnée par l'exigence de trois barrières successives qui doivent exister entre la matière radioactive et l'environnement :

la première barrière est constituée par la gaine métallique qui entoure les pastilles d'oxyde d'uranium constituant le combustible ;

- la deuxième barrière est constituée par le circuit primaire d'eau sous pression, qui extrait des éléments combustibles la chaleur provoquée par la réaction nucléaire ;
- la troisième barrière est constituée par l'enceinte de confinement ou « bâtiment réacteur », structure en béton à simple ou double paroi qui entoure le circuit primaire.

Dans un réacteur nucléaire, trois fonctions fondamentales de sûreté doivent être préservées, ou restituées en cas d'accident :

- la maîtrise de la réactivité : en cas d'accident ou d'incident important, la réaction nucléaire en chaîne doit être arrêtée, et on doit assurer qu'elle ne peut pas redémarrer. Cet effet peut être obtenu par insertion dans le cœur du réacteur des barres de contrôle prévues à cet effet, ou par augmentation de la teneur du circuit primaire en acide borique, qui absorbe les neutrons et étouffe la réaction en chaîne ;
- l'évacuation de la chaleur résiduaire : après l'arrêt de la réaction en chaîne, certains produits de fission restent dans les combustibles et continuent d'y produire de la chaleur par désintégration nucléaire. Cette chaleur doit être évacuée pour éviter le risque de fusion du combustible, soit par les moyens normaux utilisés en production (circuit primaire cédant sa chaleur au circuit secondaire par les générateurs de vapeur), soit par des moyens de refroidissement de secours. Dans tous les cas, la disponibilité d'eau et d'électricité est nécessaire pour assurer cette évacuation de la chaleur ;
- le confinement des matières radioactives : il est assuré par les trois

barrières successives décrites plus haut.

Ces fonctions de sûreté doivent être maintenues dans toutes les situations : en cas de problème intrinsèque dû à un mauvais fonctionnement du réacteur, mais aussi en cas de survenance d'événements dont la source est extérieure au réacteur mais qui peuvent l'affecter, que l'on appelle agressions. On distingue, dans la liste des agressions contre lesquelles le réacteur doit être protégé :

- les agressions internes, telles que les émissions de projectiles par des matériels accidentés, les défaillances d'équipements sous pression, les collisions et chutes de charges, les explosions, les incendies, les émissions de substances dangereuses, les inondations d'origine interne, les interférences électromagnétiques, ainsi que les combinaisons de ces agressions ;
- les agressions externes, telles que les risques liés à l'environnement industriel et les voies de communication (dont les chutes d'avion), les séismes, la foudre, les conditions météorologiques extrêmes, les incendies, les inondations d'origine externe, ainsi que les combinaisons de ces agressions.

Pour qu'une démonstration de sûreté soit convaincante, on ne peut se contenter de dire qu'il existe un système de sûreté prévu pour se prémunir contre chaque risque identifié : un système de sûreté peut tomber en panne. Inversement, on ne peut pas aller jusqu'à supposer que tous les systèmes de sûreté tombent en panne : si tout tombe en panne simultanément dans une centrale, on va indubitablement à la catastrophe. La démonstration déterministe de sûreté s'appuie donc, assez arbitrairement, sur ce qu'on appelle le critère de défaillance unique (qu'on a un peu étendu en France sous l'appellation de critère d'aggravant unique) : face à un événement dit « initiateur » qui vient perturber le fonctionnement d'un réacteur, on prend pour hypothèse qu'une seule défaillance peut intervenir dans les systèmes de sûreté (on prend soin de choisir la défaillance la plus dangereuse et intervenant au pire moment), et on doit démontrer que le réacteur peut être ramené à un état sûr en dépit de cette défaillance.

En première analyse, ce principe de défaillance unique peut conduire à doubler tout système de sûreté, supposé pouvant être mis en défaut, par un autre système assurant la même fonction : par exemple, un générateur diesel prévu pour pallier l'éventualité d'un manque de tension sur le réseau électrique qui alimente la centrale sera flanqué d'un second diesel. C'est ce qu'on appelle le principe de redondance. Mais il faut prendre garde à ce qu'un même événement, constituant l'aggravant unique pris en compte dans la démonstration de sûreté, ne vienne pas affecter simultanément les deux matériels redondants censés se secourir l'un l'autre : dans l'exemple choisi ci-dessus, une anomalie de graissage pourrait rendre simultanément indisponibles les deux diesels. On ajoute donc au principe de redondance le principe de diversité, qui demande qu'une même fonction de sûreté ne

soit pas assurée par des matériels identiques, mais qu'on se prémunisse, en choisissant des matériels de conception et de construction différentes, contre ce risque dit « de mode commun ».

L'approche présentée ci-dessus de l'analyse de sûreté correspond à l'approche dite déterministe. Le critère de défaillance unique qui en constitue une des bases n'est cependant pas entièrement convaincant : on suppose qu'un système, et un seulement, peut être défaillant, sans prendre en compte la probabilité des diverses défaillances possibles. Or le retour d'expérience montre que certains systèmes peuvent tomber en panne bien plus souvent que d'autres. Pour prendre en compte ces effets, l'approche déterministe est la plupart du temps complétée, comme on le verra par la suite, par une approche probabiliste, qui abandonne le critère de défaillance unique, et considère que tout système peut être défaillant, mais avec une probabilité que l'on estime, système par système, ce qui permet de déterminer, pour toute séquence d'événements pouvant conduire à une conséquence redoutée (par exemple la fusion du cœur du réacteur), une probabilité composée ; en additionnant toutes les probabilités composées correspondant aux différentes séquences pouvant mener à une fusion du cœur, on obtient une probabilité globale de l'événement redouté. Si les probabilités de certaines séquences de défaillances pouvant conduire à un accident grave apparaissent trop élevées, on pourra être amené à aménager le critère de défaillance unique, et à se protéger par exemple contre l'éventualité de deux défaillances simultanées, si la probabilité en apparaît non négligeable. L'approche probabiliste est en outre employée pour déterminer les combinaisons d'agressions à retenir pour l'analyse de sûreté : on ne supposera pas qu'il y ait à la fois un séisme, une crue du fleuve au bord duquel est installée la centrale, et une chute d'avion sur le réacteur, mais l'estimation des probabilités de chacun de ces événements initiateurs permettra de retenir quelles combinaisons doivent être retenues, et quelles autres doivent être éliminées, du fait d'une probabilité infime. Il faut cependant prendre garde dans cette estimation à la possibilité de liaison causale entre plusieurs de ces événements : un séisme peut engendrer un tsunami, voire un incendie, et les probabilités de ces divers événements ne peuvent donc pas être considérées comme indépendantes.

Il faut ajouter à ces considérations générales sur la doctrine de sûreté que les grands accidents nucléaires survenus dans l'histoire ont fait progresser la doctrine, en mettant en lumière des aspects antérieurement peu ou mal pris en compte. En 1979, le réacteur de Three Mile Island en Pennsylvanie a été le théâtre d'une fusion partielle importante du cœur, heureusement sans conséquences appréciables sur l'extérieur. L'analyse de l'accident montre qu'un incident d'exploitation banal (blocage d'une pompe) a conduit à une situation que les opérateurs de la salle de conduite n'ont pas comprise, ce qui les a amenés à prendre de mauvaises décisions, qui ont fait dégénérer en accident l'incident initial. La première leçon de cet accident a été le bien-fondé de la défense en profondeur : deux barrières sur les trois interposées entre le combustible nucléaire et l'extérieur ont été défaillantes, mais la

troisième, l'enceinte de confinement, a tenu, ce qui a permis de limiter à un niveau très faible les conséquences de l'incident. La deuxième leçon a été l'importance du facteur humain : la sûreté n'est pas assurée que par des automatismes, mais aussi par des hommes et des femmes. Il ne s'agit pas ici d'accabler les opérateurs de Three Mile Island ; ils n'ont pas compris la situation parce que les indications qui leur étaient fournies en salle de commande étaient incompréhensibles, voire fausses. Un accent fut donc mis, après cet accident, sur l'ergonomie des salles de commande et ce qu'on appelle l'« interface homme-machine ». Une autre leçon qui fut tirée, notamment en France, est que les enchaînements d'événements qui conduisent à des situations accidentelles ne sont pas forcément ceux qu'on a mis en évidence dans les études de conception. Face à une situation accidentelle donnée, il est plus important de comprendre l'état du réacteur, et d'agir en conséquence, que de situer la séquence accidentelle standard dans laquelle on se situe. Les procédures accidentelles des réacteurs français furent donc progressivement modifiées, pour y introduire ce qu'on appelle l'« approche par états ».

L'accident de Tchernobyl en 1986 fut nettement plus important. Un essai de fonctionnement d'un dispositif de sûreté fut réalisé dans des conditions abracadabrantes sur un réacteur mal conçu, ce qui aboutit à une violente explosion dispersant pendant plusieurs jours des matières radioactives en grandes quantités, dont certaines furent transportées sur des centaines voire des milliers de kilomètres. L'analyse de l'accident mit en évidence, outre une mauvaise conception de la centrale (qui par exemple n'avait pas d'enceinte de confinement), une incompétence et une désinvolture des exploitants de la centrale à tous les niveaux hiérarchiques, y compris les plus élevés. Cet événement déclencha en particulier, sur le plan international, la prise de conscience de l'importance de ce qu'on appelle dorénavant la culture de sûreté : accorder, à tout moment et dans toute circonstance, la priorité aux considérations de sûreté sur toutes autres considérations. L'accident de Tchernobyl amena également le monde nucléaire à prendre en compte explicitement la possibilité d'accidents graves, allant au-delà de ceux qui avaient été pris en compte à la conception des réacteurs existants. Cela conduisit à installer quelques équipements supplémentaires sur les réacteurs existants, tels que filtre à sable de décompression de l'enceinte ou recombineur d'hydrogène, et à concevoir des dispositifs complémentaires pour les réacteurs de nouvelle génération, tels que récupérateur de corium.

## 3. Approche déterministe et approche probabiliste

La première approche probabiliste de la sûreté nucléaire fut fournie en 1975 par l'étude américaine dite rapport Rasmussen. Il s'agissait, pour son auteur, de comparer les risques liés aux centrales nucléaires, représentés par une courbe donnant le nombre de morts occasionné par un événement en fonction de la fréquence de cet événement, aux risques occasionnés par certaines autres catégories d'événements, d'origine humaine ou naturelle,

tels que les séismes, les accidents d'avion, les ruptures de barrages, les chutes de météorites… Le grand mérite de cette étude a été de poser les bases des études probabilistes de sûreté, en dégageant une méthodologie dont l'application devait permettre la quantification de la fréquence des accidents nucléaires. Les résultats obtenus par Rasmussen étaient encourageants pour la sûreté du nucléaire : il prétendait mettre en évidence que les risques liés au fonctionnement de 100 réacteurs nucléaires étaient du même ordre de grandeur que les risques liés aux chutes de météorites, et plusieurs ordres de grandeur au-dessous des autres risques étudiés. Cependant, au-delà de la méthodologie, les résultats purent être mis en doute à la lumière de l'expérience : l'accident de Three Mile Island, survenu quatre ans après la parution du rapport Rasmussen, résultait d'une séquence accidentelle non prise en compte par ce rapport !

Au-delà de ce travail de pionnier, les études probabilistes de sûreté sont apparues comme un complément utile à l'approche déterministe. En effet, le critère de la défaillance unique, pris en compte dans l'approche déterministe, peut apparaître trop rigide : si les défaillances qui peuvent mettre en défaut les systèmes de sûreté ont une probabilité trop élevée, il peut être opportun d'en considérer plusieurs à la fois et non une seule. Les études probabilistes de sûreté menées classiquement sur les réacteurs nucléaires se classent en trois niveaux : les études de niveau 1 visent à déterminer une probabilité de fusion du cœur, les études de niveau 2 s'intéressent à la probabilité de rejets radioactifs à l'extérieur, les études de niveau 3 évaluent les probabilités de conséquences sur la santé humaine et sur l'environnement.

L'approche probabiliste peut aussi être utilisée pour tenter de quantifier les probabilités de conséquences d'accidents initiés par des agressions, notamment le séisme ou l'incendie. Ce genre d'études suppose à la base une quantification de la probabilité des événements initiateurs, qui est délicate ; les unes et les autres sont encore, à ce jour, au stade expérimental en France. Il faut noter aussi que, alors qu'une étude probabiliste de sûreté est en principe propre à un réacteur donné, on a pris l'habitude en France, vu l'effet de série obtenu sur les réacteurs du parc d'EDF, de mener ces études par paliers – ce qui a l'avantage de pouvoir partir d'une base de données plus large pour évaluer les probabilités des événements initiateurs de séquences accidentelles. En revanche, l'approche par paliers ne se prête pas aux études probabilistes d'agressions, le risque sismique par exemple étant différent d'un site à un autre.

L'autorité de sûreté française a été, dès le départ, séduite par l'approche probabiliste de la sûreté. Lorsque le SCSIN, représentant à l'époque cette autorité de sûreté, a fait émettre en 1977 par le ministre de l'industrie une lettre d'orientation sur les grandes options de sûreté des réacteurs à eau sous pression, elle n'a pas craint d'y formuler des objectifs probabilistes : la probabilité globale qu'un réacteur puisse être à l'origine de « conséquences inacceptables » ne devait pas dépasser $10^{-6}$ par an et par tranche, toutes les séquences de probabilité supérieure à $10^{-7}$ étant prises en compte. EDF

ayant fait valoir en réponse que ses centrales étaient déjà conçues, et qu'il était difficile de prendre en compte rétrospectivement un tel objectif, une nouvelle lettre d'orientation revenait un peu en arrière l'année suivante : il y était précisé que $10^{-6}$ ne représentait qu'un ordre de grandeur, pouvant être vérifié *a posteriori* pour les réacteurs déjà engagés. Quelques années plus tard, lors de la mise au point des options de sûreté du réacteur de troisième génération EPR, la DSIN exprimait le souhait que les probabilités d'accident grave soient d'un ordre de grandeur plus faible que sur les réacteurs existants – ce qui revenait de fait à reprendre le chiffre de $10^{-6}$ antérieurement articulé. Actuellement, l'arrêté relatif aux INB, signé le 7 février 2012, demande que la démonstration de sûreté soit menée selon une approche déterministe prudente, et qu'elle soit complétée par une étude probabiliste, sans fixer d'objectifs chiffrés à cette étude.

Il faut bien dire que les chiffres finals résultant d'une étude probabiliste de sûreté n'ont en eux-mêmes pas grande signification. L'intérêt de ces études est surtout de décortiquer toutes les possibilités de séquences accidentelles, de façon à se prémunir contre chacune d'entre elles, et de déterminer quelles sont celles de ces séquences qui ont le poids le plus important par rapport au risque global d'accident, de façon à pouvoir déterminer des axes d'amélioration. On doit souligner au passage qu'un des points les plus délicats des études probabilistes de sûreté est le traitement des risques de mode commun : il faut arriver à déterminer des corrélations (ou des absences de corrélation) entre les probabilités de défaillance de différents équipements devant intervenir dans la même séquence accidentelle. La détection et le traitement de ces modes communs constituent une voie importante d'amélioration de la sûreté.

Inversement, il ne faut pas attacher trop d'importance aux valeurs absolues des probabilités obtenues. Toutes les études probabilistes reposent sur des probabilités de défaillance des différents équipements, pour lesquels on ne dispose pas toujours des banques de données adéquates. La quantification des risques de défaillances humaines est particulièrement schématique et délicate. Les résultats ne doivent en aucun cas être utilisés pour comparer les différents réacteurs entre eux.

Une application particulièrement vicieuse des études probabilistes de sûreté consiste à les utiliser pour tenter de justifier des modifications supprimant des systèmes ou des actions de sûreté, en arguant que leur influence sur la probabilité globale de fusion du cœur est négligeable. L'Autorité de sûreté nucléaire française n'a jamais admis jusqu'ici de telles argumentations.

## 4. Approche française et approche américaine

Puisque les réacteurs français dérivent d'une conception originelle américaine, on peut tenter de comparer les approches de sûreté française et américaine. Disons tout de suite qu'il y a entre ces approches beaucoup plus de ressemblances que de dissemblances. D'une part, en effet, l'ap-

proche française, au départ, a dérivé de l'approche américaine, importée en même temps que la technologie Westinghouse ; d'autre part, dès l'origine et de plus en plus, il s'est établi des échanges internationaux en matière de sûreté nucléaire, qui tendent à harmoniser les pratiques entre les différents pays. De tels échanges ont lieu entre les autorités de sûreté des différents pays par exemple à l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), où se discutent entre représentants des États membres et s'adoptent par consensus des normes de sûreté nucléaire, ou dans un cercle plus restreint à l'Agence de l'énergie nucléaire (AEN) de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). Des associations de responsables d'autorités de sûreté ont également été créées, comme l'International Nuclear Regulators' Association (INRA), qui regroupe les chefs des autorités de sûreté des huit pays les plus importants en matière nucléaire, ou Western European Nuclear Regulators' Association (qui comme son nom l'indique n'implique pas les États-Unis). Les exploitants, eux, se sont regroupés après Tchernobyl en une World Association of Nuclear Operators (WANO), qui a pour objet de partager entre les participants (tous les exploitants du monde) les meilleures pratiques en matière de sûreté. Une autre importante occasion de partager les pratiques de sûreté est donnée par l'application de la convention internationale de sûreté nucléaire, qu'ont signée pratiquement tous les pays nucléaires, et qui oblige les parties à produire tous les trois ans un rapport, discuté en réunion internationale à Vienne, sur la façon dont ils appliquent les grands principes de sûreté nucléaire figurant à la convention. L'accident de Fukushima a conduit à organiser une réunion extraordinaire d'application de cette convention, pour que les participants puissent échanger sur les conséquences qu'ils tirent de cet accident.

Malgré ces convergences, il existe quelques différences entre les pratiques de sûreté américaines et françaises. Ces différences résultent en partie de l'histoire, mais aussi en partie de la différence des parcs nucléaires à contrôler. Les États-Unis possèdent un parc d'un peu plus de cent réacteurs, de nombreux modèles différents, et exploités par un grand nombre d'opérateurs, tous privés – certaines sociétés possèdent et exploitent un seul réacteur. Au contraire, en France, les cinquante-huit réacteurs en fonctionnement appartiennent à une seule filière, celle des réacteurs à eau sous pression, et ont été construits en série par paliers, chaque palier dérivant du précédent avec quelques modifications. L'exploitant nucléaire, EDF, est pour le moment unique, et est en grande partie à capitaux d'État. De ce fait, les autorités américaines ont adopté une approche prescriptive : les moyens à mettre en œuvre sont fixés par l'autorité, qui par exemple impose l'application de codes de construction comme le code ASME. En France, au contraire, on réglemente davantage par objectifs que par moyens : il faut par exemple démontrer que la rupture brutale de la cuve du réacteur peut être exclue, ce qui suppose une démonstration circonstanciée et non pas la seule application d'un code.

Une autre différence importante tient à la durée de vie autorisée. Aux États-Unis, la durée de la licence initiale est limitée à 40 ans, et une cen-

trale ainsi autorisée peut normalement fonctionner sans nouvelle révision d'ensemble pendant cette durée. De plus en plus, les réacteurs arrivant à la fin de leur durée de licence demandent une prolongation de fonctionnement jusqu'à soixante ans ; cette prolongation leur est accordée moyennant un réexamen d'ensemble de la sûreté de l'installation, à l'occasion duquel des améliorations peuvent être exigées. En France, conformément à la tradition réglementaire, les autorisations de création des réacteurs sont accordées sans limitation de durée ; mais une pratique, maintenant reprise par la loi, consiste à effectuer tous les dix ans un réexamen de sûreté complet de chaque installation, à l'occasion duquel est examinée la possibilité de laisser le réacteur fonctionner dix ans supplémentaires et sont apportées, en général par paliers, les améliorations que l'évolution des connaissances et le retour d'expérience ont rendues opportunes.

On peut citer également une différence dans les modalités d'inspection des installations par les autorités. Aux États-Unis, existent sur chaque centrale des « inspecteurs résidants », qui sont en permanence informés de la vie et des problèmes de l'installation – leur action pouvant être renforcée sur certains sujets par l'intervention d'inspecteurs spécialisés dans un domaine technique. En France, la plupart des inspections sont menées par les ingénieurs des divisions régionales de l'ASN, qui sont plutôt des généralistes, mais font porter leurs inspections ponctuellement sur des domaines particuliers qu'ils explorent à fond, par sondage. Les inspecteurs de l'ASN sont accompagnés et soutenus par des spécialistes de l'IRSN, appui technique de l'Autorité de sûreté nucléaire.

Enfin, on notera une tendance marquée dans la pratique américaine à prendre en compte les coûts économiques des mesures imposées. Les exploitants américains, qui sont privés, dénoncent souvent les « charges indues » que font peser sur eux les exigences de l'autorité de sûreté – et ces positions sont parfois relayées par certains parlementaires. Dans cet esprit, ils utilisent volontiers les études probabilistes de sûreté pour essayer de démontrer que l'abandon de certaines exigences de sûreté ne procurerait qu'une augmentation infime du risque d'accident grave.

## 5. Les leçons de Fukushima

Le 11 mars 2011, un très violent tremblement de terre survenu au Japon, au large de Fukushima, déclenchait un tsunami d'une ampleur inhabituelle. La centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, qui comportait six réacteurs à eau bouillante, semble avoir dans un premier temps bien résisté au séisme, bien que l'importance de ce séisme fût nettement supérieure à ce qui avait été pris en compte à la construction de la centrale, mais les lignes électriques qui l'alimentaient en courant furent endommagées, et la centrale, automatiquement mise à l'arrêt, dut se replier sur les générateurs diesel prévus à cet effet. Dans un deuxième temps, la vague du tsunami, lui aussi bien plus important que ce qui avait été prévu à la conception, balaya les générateurs

diesel et leurs réservoirs de fuel, et rendit indisponibles les prises d'eau de refroidissement de la centrale, qui se trouva donc privée et d'eau et d'électricité, ce qui aboutit à la fusion au moins partielle du cœur de trois tranches, et à l'endommagement de la piscine de refroidissement du combustible d'une quatrième ; les deux dernières tranches, situées sur une plate-forme calée plus haut que les quatre premières, ne furent pas gravement accidentées.

La catastrophe de Fukushima fut d'abord bien entendu une catastrophe naturelle : le tremblement de terre et le tsunami furent directement à l'origine de quelque 20 000 morts ou disparitions. Du point de vue nucléaire, ce fut une catastrophe industrielle : quatre réacteurs sont irrécupérables et devront être démantelés. L'aspect nucléaire fut également à l'origine d'une catastrophe humaine et environnementale : des populations entières furent évacuées dans un rayon de 20 kilomètres autour de la centrale, et les territoires correspondants sont actuellement stérilisés et seront difficiles à reconquérir, même si des travaux importants de décontamination ont été lancés par le gouvernement japonais. Les conséquences sanitaires de l'accident nucléaire ne seront en revanche sans doute pas très importantes : il n'y a pas eu d'irradiation aiguë, même chez les travailleurs de la centrale qui ont été mobilisés pour la ramener dans un état sûr ; un nombre très restreint de personnes ont été irradiées au-delà des limites qui sont admises dans les cas d'urgence radiologique. Pour les populations avoisinantes, l'évacuation rapide et la distribution de pastilles d'iode stable pour protéger la glande thyroïde (que le Gouvernement n'a pas préconisée de façon générale, mais qui a été pratiquée dans certaines zones à l'initiative des élus locaux) ont sans doute limité les irradiations. On commence cependant à voir apparaître chez les jeunes quelques cancers de la thyroïde.

Bien entendu, l'accident a suscité un émoi justifié chez tous les pays nucléaires, même si ni les États-Unis ni l'Europe n'ont été directement touchés par les retombées de l'accident. En France, on n'a pas tiré véritablement d'enseignements du détail du déroulement technique de l'accident, dont certains traits sont spécifiques de la technologie des réacteurs à eau bouillante, qui n'est pas la technologie employée en France. En revanche, certains aspects ont paru transposables aux réacteurs français : la possibilité d'être confronté à des phénomènes naturels plus importants que prévu ; la difficulté de conduire un réacteur sans approvisionnement en électricité, ou en eau, ou les deux à la fois ; la difficulté de gérer un accident affectant simultanément plusieurs installations sur un même site.

La mise en commun de ces préoccupations entre autorités de sûreté européennes, notamment au sein de l'association WENRA, permit de mettre au point un cahier des charges pour la réalisation de tests de résistance sur les réacteurs existants, cahier des charges qui fut adopté par les autorités politiques européennes. L'ensemble des réacteurs européens durent donc être soumis à ces tests de résistance, qui avaient pour but, schématiquement, d'évaluer leur capacité à supporter des sollicitations plus fortes que celles qui avaient été envisagées à la conception, du fait en particulier de séismes

ou d'inondations particulièrement sévères. À la lumière du scénario de Fukushima, l'accent était mis en particulier sur la robustesse des alimentations en eau et en électricité des réacteurs. Malgré certaines demandes, les tests de résistance ne furent pas étendus à la résistance aux actes de malveillance : d'une part en effet l'approche de la prévention de la malveillance ressortit à une problématique différente, d'autre part le traitement de ce thème aurait entraîné des restrictions de communication de type confidentiel défense, alors que l'exercice des tests de résistance se voulait aussi ouvert et public que possible.

En France, les tests de résistance européens furent bien entendu menés, mais l'ASN souhaita élargir un peu l'exercice, qui prit le nom d'évaluations complémentaires de sûreté (ECS). Des ECS furent demandés à toutes les installations nucléaires de base, et non aux seuls réacteurs, ce qui se justifie par l'existence en France d'usines nucléaires importantes comme le complexe industriel du Tricastin, où le risque est principalement chimique (utilisation d'acide fluorhydrique), ou la gigantesque usine de retraitement de La Hague. Les tests de résistance proprement dits furent également élargis pour examiner les tolérances des installations à des ruptures d'alimentation en eau ou en électricité, quelle que soit leur cause. La possibilité d'accidents touchant simultanément plusieurs installations sur un même site fut examinée. Enfin, un intérêt particulier fut porté aux facteurs organisationnels et humains, et notamment au rôle de la sous-traitance. Il faut en outre souligner que l'examen des ECS présentées par les exploitants fut ouvert aux experts des pays voisins des centrales françaises.

En ce qui concerne la résistance aux séismes, on peut noter qu'une nouvelle règle fondamentale de sûreté avait été édictée par l'ASN en 2001, à la suite de longues discussions avec les exploitants ayant pour objet de prendre en compte les dernières avancées scientifiques en matière de connaissance des séismes. Cette règle nouvelle avait amené tous les exploitants à réexaminer les niveaux de séisme contre lesquels ils devaient protéger leurs installations. De même, en matière d'inondations, un incident sérieux survenu fin 1999 sur la centrale nucléaire du Blayais avait montré que les hypothèses jusque-là retenues pour déterminer le niveau d'eau contre lequel on devait se défendre pour éviter les inondations étaient inadaptées ; cette constatation avait amené l'ASN à demander aux exploitants de revoir le niveau de leurs inondations de référence, et de prendre des précautions pour éviter que des locaux sensibles ne soient inondés au cas où cette nouvelle cote de sécurité serait malgré tout dépassée. Le référentiel auquel devaient se référer les installations était donc assez récemment mis à jour. Les ECS firent apparaître quelques problèmes de conformité à ce référentiel (par exemple, des locaux de crise ne tenant pas au niveau de référence de séisme actuel). Elles ouvrirent surtout la porte à deux possibilités d'améliorations qui seront prochainement mises en œuvre : le « noyau dur » et la « force d'action rapide nucléaire » (FARN). Les problèmes de révision éventuelle du référentiel actuel seront examinés ultérieurement, par exemple à l'occasion des réexamens décennaux de sûreté.

La notion de noyau dur consiste à augmenter la résistance aux agressions non pas de l'ensemble des systèmes d'un réacteur, mais d'un nombre limité de systèmes et composants dont on aurait besoin pour assurer les niveaux supérieurs de la défense en profondeur : traitement des accidents, et surtout des accidents graves, et organisation de crise. Le niveau des agressions (séismes, inondations) auxquelles devra résister le noyau dur devra être significativement supérieur à celui qui est pris en compte, après les révisions évoquées à l'alinéa précédent, dans le référentiel de conception des installations. La FARN, elle, consistera en la disponibilité sous 24 heures, en cas d'accident, de moyens de secours qui pourraient être acheminés sur n'importe quel site. Ces moyens seront à la fois techniques (matériels) et humains (personnels), et leur acheminement supposera des moyens logistiques de transport, notamment par hélicoptère pour le cas où les accès terrestres seraient indisponibles.

Ces idées ont été émises par l'exploitant EDF, et accueillies favorablement par l'ASN. Un travail important est en cours pour les préciser (consistance exacte du noyau dur, choix des niveaux de sollicitations auxquels il devra résister, principes de démonstration de la tenue des systèmes et composants aux sollicitations envisagées) ; il restera bien entendu à les mettre en œuvre. Est également examinée la possibilité de définir et de mettre en œuvre des mesures comparables pour les installations nucléaires autres que les réacteurs de puissance.

## Conclusion

La doctrine de sûreté française ne résulte pas d'une construction théorique. Elle s'est développée en même temps que se développait l'autorité chargée de la mettre en œuvre. Elle s'est nourrie des leçons des grands accidents nucléaires qu'ont été Three Mile Island et Tchernobyl. Les enseignements de Fukushima permettront d'améliorer encore la sûreté des centrales françaises. Il faudra cependant compter encore plusieurs années avant de comprendre parfaitement l'accident de Fukushima, d'en mesurer toutes les conséquences, et d'en tirer tous les enseignements utiles.

Complément F

# L'homme probabiliste ?
## Prendre en compte les facteurs humains dans les études probabilistes de sûreté

**Frédéric Ménage**
*Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire*

## 1. Introduction

En France, la démonstration de sûreté des installations nucléaires repose principalement sur des méthodes déterministes appuyées sur des principes de conception et d'exploitation qui sont adaptés à la nature des risques présentés par ces installations. Parmi ces principes figurent le concept de défense en profondeur, la tolérance aux défauts, la définition de cas de charge, la prise en compte de marges de sûreté à la conception… Pour les réacteurs nucléaires électrogènes, cette démonstration est *de facto* renforcée, depuis les années quatre-vingt-dix, par l'utilisation d'études probabilistes de sûreté (EPS). Ce type d'outil apporte un éclairage supplémentaire qui vient renforcer la robustesse des démonstrations de sûreté. Ces études ont pu être élaborées grâce à la bonne connaissance de la phénoménologie physique des accidents et à la quantification possible de la fiabilité des composants individuels des systèmes.

Mais les systèmes sont actionnés par des hommes. Les décisions sont prises par des hommes. Les erreurs sont commises par des hommes, détectées et corrigées par des hommes. Comment prendre en compte la part de l'homme dans un système de description probabiliste issu d'une vision très mécaniste du monde ? Peut-on s'autoriser à le faire ? Si oui, de quelle manière, en utilisant quelles données, avec quelle incertitude ? Ce complément présente quelques réponses possibles à ces questions, en illustrant leur mise en œuvre dans une EPS de niveau 2.

## 2. Quantifier la fiabilité des actions humaines

### 2.1. Doit-on quantifier l'action de l'homme et évaluer sa probabilité d'échec ?

Les spécialistes des facteurs humains d'une part et des systèmes mécaniques d'autre part pourraient, dans une première approche, s'accorder pour répondre *a priori* non à cette question. Les premiers pourraient s'offusquer que l'on puisse prétendre représenter l'homme de façon mécaniste. Les seconds pourraient regretter que le niveau de précision des données fiabilistes « scientifiques » utilisées pour décrire les équipements soit dégradé par des données de fiabilité humaine à la provenance douteuse et incertaine. Ces arguments pourraient conduire à exclure toute modélisation de l'action humaine dans les arbres d'événements. Mais, en la matière, ne pas quantifier revient à quantifier malgré tout  Intéressons-nous à l'exemple d'une vanne d'un système d'injection de sécurité servant à isoler l'eau du réservoir lors d'interventions de maintenance, et normalement placée en position ouverte lorsque le réacteur fonctionne. L'examen du retour d'expérience de l'exploitation des centrales nucléaires montre qu'un intervenant peut oublier de remettre une vanne dans la bonne position à l'issue une opération de maintenance. Un arbre d'événement qui chercherait à quantifier la probabilité de défaillance du système sans inclure la position de la vanne ferait implicitement l'hypothèse que la probabilité d'une telle erreur est égale à zéro. Une approche inverse pourrait conduire à considérer que l'homme n'est pas fiable et donc à figer implicitement toute probabilité d'erreur humaine à un. Dans l'exemple précédent, cela reviendrait à considérer que la vanne sera toujours fermée, ce qui annule tout bénéfice associé au circuit d'injection de sécurité (la contribution de cette séquence accidentelle à la fréquence d'occurrence de l'événement redouté serait alors évaluée à $10^{-4}$).

À l'évidence, la vérité se situe entre ces deux extrêmes. C'est pourquoi tout modèle de fiabilité humaine rigoureux et documenté, capable de produire une analyse plus fine que celle contenue dans les hypothèses implicites du type « l'homme ne se trompe jamais » ou « l'homme se trompe toujours » présente un réel intérêt.

### 2.2. Comment quantifier l'action de l'homme et évaluer sa probabilité d'échec ?

Lorsqu'on s'intéresse aux facteurs humains, la première source d'information est l'observation de l'activité humaine. Toutefois, le recueil de données quantitatives se heurte rapidement à une difficulté de taille. Estimer la probabilité d'échec d'une action humaine sur la base d'observations revient à calculer une fraction dont le numérateur serait le nombre d'erreurs observées et le dénominateur serait le nombre d'occasions de se tromper. Le numérateur est relativement facile d'accès, le dénominateur beaucoup moins. En pratique, ce type d'observations produit des résultats exploitables lorsque l'activité observée est très répétitive et codifiée (comme sur une

chaîne de montage par exemple). L'ordre de grandeur des probabilités d'erreurs humaines utilisées dans les EPS développées par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) est issu d'observations de ce type[1].

Cependant, la gestion d'un accident nucléaire est beaucoup moins mécaniste et répétitive que l'activité humaine sur une chaîne de montage. C'est pourquoi l'évaluation probabiliste de la fiabilité humaine (EPFH) nécessite un travail important d'analyse des tâches destiné à :

- sélectionner et définir précisément les « missions de conduite » nécessaires et suffisantes pour éviter l'événement redouté ;
- analyser précisément le contexte dans lequel ces missions sont conduites et identifier les principaux « facteurs de contexte » susceptibles d'augmenter ou de diminuer la probabilité d'erreur.

Enfin, la gestion d'un accident est principalement le fait de l'équipe de conduite du réacteur (au moins pendant les premières heures) et de nombreuses décisions sont prises de façon collective par cette équipe. C'est pourquoi il est nécessaire, à chaque fois que cela est possible, de recourir à des observations d'équipes constituées sur des simulateurs « pleine échelle » qui reproduisent le déroulement de la séquence accidentelle. C'est par exemple ainsi qu'ont été obtenues les courbes utilisées dans les EPS de niveau 1 de l'IRSN pour estimer la probabilité de réussite du diagnostic de la situation accidentelle par l'équipe de conduite, en fonction du temps dont celle-ci disposait.

### 2.3. De l'équipe de conduite à l'organisation nationale de crise

Quelques heures après le début d'un accident, l'équipe de conduite bénéficie de l'assistance de l'organisation nationale mise en place en France en cas de crise nucléaire. C'est pourquoi toute estimation de la probabilité d'échec d'une mission de conduite au-delà des premières heures doit tenir compte de l'aide apportée par l'Organisation nationale de crise (ONC). Dans les EPS de niveau 1 de l'IRSN, le modèle utilisé à cet effet est très simple. On suppose que le temps de gréement de l'ONC est de 4 heures. Donc, avant 4 heures, aucune forme d'aide à l'équipe de conduite n'est modélisée dans l'étude. Au-delà, l'ONC est supposée omnisciente ; elle prend systématiquement les bonnes décisions et corrige les erreurs de conduite récupérables. Ainsi, les seules erreurs prises en compte au-delà de 4 heures sont les actions des opérateurs conduisant de façon irréversible à l'échec de la mission. Dans l'exemple précédent, le fait de démarrer une pompe du système d'injection (même après 4 heures) alors que la vanne est fermée conduit irrémédiablement à la perte de la pompe et l'ONC n'y peut rien. En revanche, si la vanne est bien ouverte, on supposera qu'au-delà de 4 heures la conduite du système d'injection de sécurité s'effectue de façon optimale, car l'ONC est capable de corriger toute erreur réversible. Ce modèle très simple est suffisant dans le cas d'une EPS de niveau 1, car les actions les

(1) Notamment de Swain et Guttman (1983).

plus déterminantes se déroulent dans les premières heures. En revanche, dès que l'on s'intéresse à l'évaluation des rejets, comme dans l'EPS de niveau 2, les missions déterminantes s'étalent bien au-delà de 4 heures et on ne peut plus se contenter d'un modèle aussi basique. Là encore, tout modèle de fiabilité humaine rigoureux et documenté, capable de produire une analyse plus fine que celle contenue dans l'hypothèse « l'efficacité de l'ONC est nulle avant 4 heures et totale après 4 heures » présente un réel intérêt. C'est l'une des tâches auxquelles s'est attelé l'IRSN lorsqu'il a décidé, il y a un peu plus de 10 ans, de développer une EPS de niveau 2.

## 3. Quantifier l'action de l'organisation nationale de crise

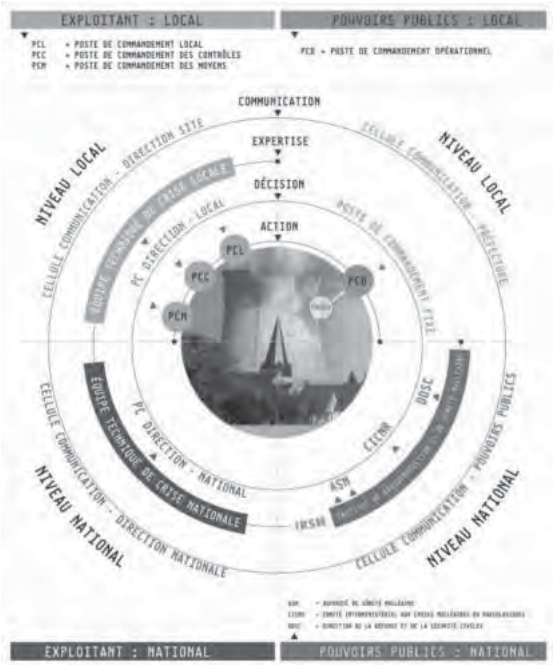
### 3.1. Présentation de l'organisation nationale de crise[2]

Dans le cas d'un accident affectant une installation nucléaire, l'exploitant et le préfet du département prennent des décisions afin de limiter au maximum les conséquences sur les personnes. Mais la complexité des phénomènes susceptibles d'intervenir nécessite également de faire appel à l'assistance d'organismes nationaux. L'IRSN participe à cette organisation nationale. Au niveau local, le directeur du site, responsable de son installation, prend les mesures qui s'imposent, en application de son plan d'urgence interne (PUI), pour protéger le personnel, ramener l'installation dans un état de sûreté satisfaisant, limiter les conséquences de l'accident et informer les pouvoirs publics et les médias. Le préfet, qui est responsable de la protection des populations, met en œuvre son Plan particulier d'intervention (PPI), en mobilisant des moyens de secours locaux. Au niveau national, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) est chargée de conseiller le préfet. L'IRSN leur apporte son expertise technique en matière d'actions à engager pour protéger les travailleurs et la population, ainsi qu'en matière de traitement des conséquences radiologiques et sanitaires. Suivant l'évolution de l'accident, les ministères chargés de l'Intérieur, de la Santé, de l'Industrie et de l'Environnement sont amenés à participer à la gestion de crise et à assister le préfet dans son action. L'organisation nationale de crise est représentée dans la figure 1.

Sans chercher à expliciter le détail de ce schéma, il faut simplement souligner que les acteurs sont nombreux, répartis dans des lieux différents, et qu'il serait illusoire de vouloir modéliser l'efficacité de l'ONC par des modèles cognitifs décrivant le détail des mécanismes de prise de décision, de communication etc. À cette approche, que l'on pourrait qualifier d'intrinsèque, l'IRSN a préféré substituer une approche extrinsèque consistant à identifier les principaux facteurs d'influence susceptibles d'altérer l'efficacité de l'ONC (et donc d'augmenter la probabilité d'échec des missions de conduite) et à quantifier le poids de ces facteurs.

(2) Section adaptée de IRSN (2008).

**1. L'organisation nationale de crise**




*Source* : D'après IRSN (2008).

## 3.2. Les facteurs d'influence

L'ONC teste régulièrement son efficacité au moyen d'exercices de crise d'ampleur nationale voire internationale. Ces exercices constituent l'observable disponible le plus proche de la situation réelle. C'est pourquoi l'IRSN a commencé la construction de son modèle d'EPFH pour l'EPS de niveau 2 en observant des exercices de crise. Les principaux résultats de ces observations ont été l'induction des facteurs d'influence qui affectent la probabilité d'échec de l'intervention humaine. L'intervention humaine réalisée par l'organisation de crise peut être considérée selon le processus information-décision-action.

La phase d'information est extrêmement importante pour l'ONC. Les experts des différentes cellules de crise ont besoin, aussi rapidement que possible, d'informations claires et sûres pour évaluer la situation. De même les demandes d'information, les conseils ou les prescriptions des équipes de crise aux personnes chargées de conduire la tranche doivent être clairs. Le bon fonctionnement de l'ensemble de cette phase repose sur la qualité de l'information à la source, de sa vérification et de sa validation, ainsi que la rapidité et la qualité de sa diffusion au sein de l'ONC.

La phase de décision est la phase cognitive par excellence : les équipes de crises doivent comprendre ce qui se passe, déterminer l'état de l'installation, son évolution probable, évaluer les conséquences présentes et à venir, et en

### 1. Facteurs d'influence induits de l'analyse des exercices de crise

| | Description |
|---|---|
| Moyens d'information et de mesure | Ce facteur d'influence fait référence à la qualité, la fiabilité, l'efficacité de toutes les mesures et informations disponibles dans la salle de commande et des moyens permettant de les transmettre aux équipes de crise (fax, téléphones, transmission automatique de données depuis le réacteur accidenté…). |
| Délai de décision | Temps nécessaire pour obtenir l'information, la contrôler, la traiter et prendre en fonction de celle-ci une décision sur l'action requise. |
| Difficulté de décision | Difficulté de prendre la bonne décision. |
| Difficulté du scénario | Difficulté du contexte global de la séquence accidentelle où doit intervenir la prise de décision, qui dépend du type d'accident, de la vitesse d'évolution, de la liberté d'action laissée par la défaillance des systèmes quant à la conduite de l'installation. |
| Degré d'implication de l'ONC | Nombre d'équipes de conduite ou de crise impliquées dans le processus de décision : du PC local au plus près du réacteur, à l'organisation locale sur le site voire à toute l'organisation nationale de crise avec les équipe centrales crises. |
| Difficultés induites par les conditions matérielles | Ce facteur d'influence décrit les conditions de réalisation de l'action décidée. Il peut être affecté par l'ambiance radioactive, la qualité de l'éclairage, la température, la présence de fumées ou de gaz, l'exiguïté, etc. |
| Difficulté pour les opérateurs | Difficulté de l'action décidée indépendamment des conditions d'intervention : qualité des procédures, expérience et connaissance des opérateurs en salle de commande ou dans l'installation. |

*Source* : Baumart et *al*. (2000).

fonction de ces éléments, dans un délai contraint par la cinétique de l'accident, prendre une décision et la transmettre. Cette phase fait intervenir des choix face à des incertitudes et à des compromis entre des objectifs contradictoires. Les paramètres influençant le plus le succès de cette phase sont le délai de décision, la difficulté du scénario accidentel en cours et la difficulté de la décision.

La phase d'action, se déroulant au niveau local, fait intervenir tous les acteurs du site, dont l'efficacité est principalement influencée par la difficulté cognitive des actions à réaliser (complexité pour les opérateurs) et les conditions de réalisation de cette action (dangerosité, pénibilité…). Le tableau 1 résume ces facteurs d'influence.

### 3.3. Les modalités des facteurs d'influence

De façon à pouvoir construire une expression quantitative de ces facteurs d'influence, il s'est avéré nécessaire de définir pour chacun d'entre eux deux ou trois modalités permettant d'en caractériser l'influence favorable, défavorable ou neutre selon l'action et la séquence accidentelle considérées.

Il convient de souligner que ces facteurs d'influence ne sont pas indépendants les uns des autres et que la modalité prise par l'un d'entre eux peut faire varier le poids relatif des autres. Pour cette raison, il n'a pas été possible d'utiliser un modèle de pondération multiplicatif simple. Aussi l'IRSN a été amené à développer un outil capable de quantifier l'influence des facteurs qui présentent des dépendances. La création de cet outil constitue l'apport le plus significatif des travaux de l'IRSN sur le modèle d'EPFH de l'EPS de niveau 2.

### 3.4. Utilisation d'un arbre de décision

La méthode des arbres de décision a été appliquée aux problèmes de fiabilité humaine notamment dans le cadre du programme expérimental ORE (*Operator Reliability Experiment*) initié par l'EPRI, des producteurs électriques américains et Électricité de France (Moieni, Spurgin et Singh, 1994). Elle a également été utilisée de manière très poussée dans le programme AGNES (*Advanced Generic and New Evaluation of Safety*) de l'Institut de recherche hongrois sur l'énergie électrique (VEIKI, 1997). Un arbre de décision résume toutes les situations d'intervention humaine envisageables, qui sont définies par un vecteur de modalités (valeurs) des facteurs influençant la réussite de l'intervention. Une branche de l'arbre (associée de manière évidente à un vecteur de modalités) représente un type (défini par les modalités des facteurs d'influence) d'intervention humaine, chaque type étant associé à une probabilité donnée. La méthode consiste aussi à hiérarchiser les facteurs d'influence en fonction de l'importance de ceux-ci et la constitution de l'arbre utilise la convention d'avoir à chaque nœud la branche montante comme branche favorable et la descendante comme défavorable (convention classique dans les arbres d'événements dans les EPS). Il peut y avoir plus de deux branches, si le facteur d'influence doit être qualifié plus finement que de manière binaire.

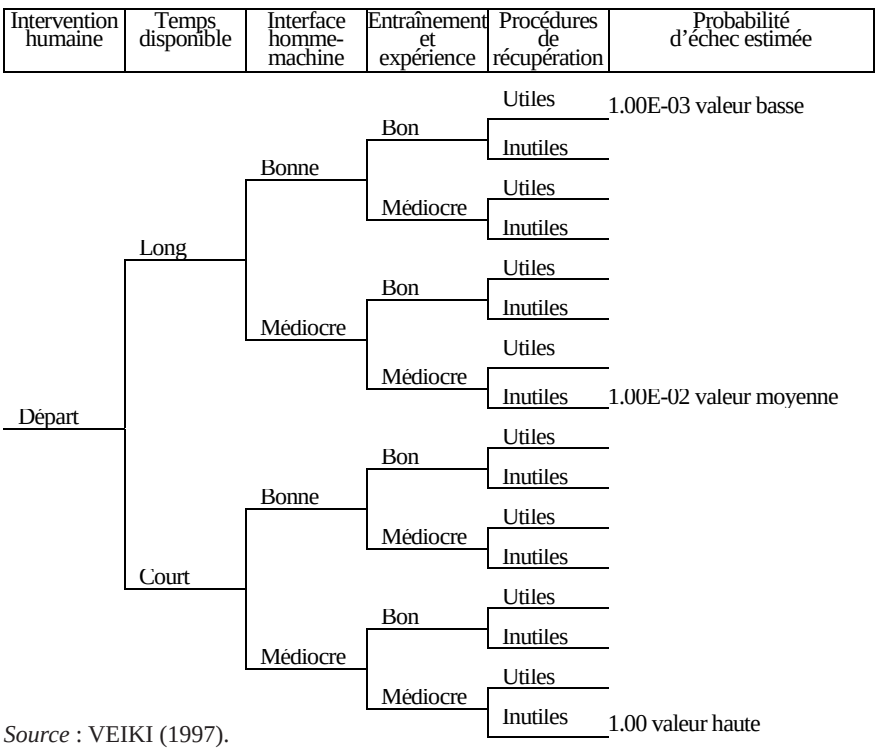
## 2. Modalités des facteurs d'influence

| | Caractérisation |
|---|---|
| Moyens d'information et de mesure | |
| • non satisfaisants | Pas d'information ou information induisant en erreur ; informations contradictoires ou sujettes à caution. |
| • satisfaisants | Toutes les informations nécessaires pour la décision et l'action requises sont disponibles. |
| Délai de décision | |
| • court | Il n'est pas possible d'organiser une réflexion concertée, le besoin imminent de réaction nécessite une décision presque immédiate. |
| • moyen | Le délai permet la discussion, la compréhension et l'identification d'une solution, mais il ne faut pas perdre de temps. |
| • long | Le facteur temps n'est plus un problème. |
| Difficulté de la décision | |
| • difficile | Nécessite un compromis entre plusieurs considérations contradictoires ; conséquences importantes sur l'état de l'installation, les rejets ou le refroidissement du coeur ; conséquences incertaines par manque d'outils de calcul, de retour d'expérience ou de formation. |
| • moyenne | La réalisation de l'action a un impact sur l'installation, mais pas sur les rejets ; pas de compromis à trouver mais les moyens à activer sont importants ; des situations similaires sont connues. |
| • facile | Pas de conséquence néfaste sur l'état de l'installation ou sur les rejets potentiels; pas d'incertitude sur les conséquences. |
| Difficulté du scénario | |
| • difficile | La séquence accidentelle présente des défaillances multiples, une cinétique rapide ou n'a jamais été étudiée. |
| • facile | Le nombre de défaillances est réduit ; la cinétique est lente ; la séquence accidentelle est connue. |
| Degré d'implication de l'ONC | |
| • local | L'action peut et doit être gérée par les seules équipes locales de crise. |
| • national | L'action n'est pas gérable par le site seul, parce que ce dernier manque de moyens techniques, qu'il n'a pas l'autorité suffisante, que l'action à mener n'est pas décrite dans les procédures disponibles sur site… (*en dépit des réserves de certains experts à ce sujet, cette modalité a été considérée comme la plus favorable car permettant l'accès aux moyens d'expertise les plus importants*) |
| Difficulté induite par les conditions matérielles | |
| • conditions dégradées | Ambiance radioactive non négligeable ; accès difficile ; ambiance thermique ; port de tenue spéciale nécessaire… |
| • condition normales | Conditions très proches de celles du fonctionnement normal ; l'action peut-être entièrement menée depuis la salle de commande… |
| Difficulté pour les opérateurs | |
| • difficile | Action jamais réalisée par les opérateurs (formation, expérience) ; pas de document support ; nombre important d'opérations ; présence d'intervenants extérieurs requise… |
| • facile | Action bien connue. |

Envisageons par exemple, le cas d'une activité humaine pour laquelle une analyse a montré que le succès ou l'échec des actions considérées dépend principalement des facteurs d'influence suivants : temps disponible pour réaliser l'action, interface homme machine, entraînement et expérience, procédures de récupération. Pour chacun d'entre eux, on peut définir des modalités capables de décrire l'état du facteur d'influence en regard de la situation considérée. Ainsi, le temps disponible peut être long ou court, l'interface homme-machine peut être bonne ou mauvaise, l'entraînement et l'expérience peuvent être adéquats ou non et les procédures de récupérations utiles ou inutiles. Dans notre exemple, chaque facteur d'influence comporte deux modalités, mais il peut en posséder plus si l'on souhaite une analyse plus fine. Le temps disponible peut par exemple être qualifié de long, moyen ou court.

Le nombre de combinaisons possibles est égal au produit du nombre de modalités de chaque facteur d'influence. Ici, nous disposons de seize combinaisons (2 x 2 x 2 x 2). Si les facteurs d'influence ont été bien choisis, ils permettent de caractériser efficacement les chances de succès d'une action humaine dans une situation donnée. Ainsi, à une combinaison donnée des modalités des différents facteurs, on peut associer une probabilité d'échec de l'action. Comme il y a seize combinaisons possibles, on doit définir seize valeurs de la probabilité d'échec. Ces combinaisons et les probabilités associées sont représentées sous la forme d'un arbre, appelé arbre de décision.

**2. Un arbre de décision typique**




*Source* : VEIKI (1997).

## 3. Exemples de questions posées aux experts

| Question : situez sur l'échelle indiquée la probabilité minimale de succès de l'intervention lorsque deux facteurs d'influence ont des modalités positives (et toutes les autres des modalités négatives).<br><br>Facteur d'influence 1: Moyens d'information et de mesure (A) / Modalité : satisfaisant | | | | Question subsidiaire : si possible, identifiez les facteurs d'influence supplémentaires dont une modalité favorable assurerait le succès de l'intervention (6 ou presque 6 sur notre échelle) | |
|---|---|---|---|---|---|
| Facteur d'influence 2 | | Modalité | Succès de l'intervention | Entourer le facteur d'amélioration | Commentaires |
| Délai de décision | B | Long | échec 1 2 3 4 5 6 succès | C D E F G | |
| Difficulté de la décision | C | Facile | 1 2 3 4 5 6 | B D E F G | |
| Difficulté du scénario | D | Facile | 1 2 3 4 5 6 | B C E F G | |
| Degré d'implication de l'ONC(*) | E | Oui | 1 2 3 4 5 6 | B C D F G | |
| Difficultés induites par les conditions matérielles | F | Conditions normales | 1 2 3 4 5 6 | B C D E G | |
| Difficulté pour les opérateurs | G | Facile | 1 2 3 4 5 6 | B C D E F | |

*Lecture* : Extrait du questionnaire concernant les facteurs d'influence choisis par les experts et leurs combinaisons favorables. Le questionnaire contient douze séries de questions portant sur l'effet conjugué de deux ou trois facteurs d'influence ayant des modalités favorables.

*Note* : (*) L'Organisation nationale de crise (ONC), située au niveau central, a pour fonction d'assister par son expertise et ses actions les responsables locaux de la gestion de crise.

*Source* : Baumont et *al*. (2000).

Il est facile de comprendre qu'une quantification directe d'un arbre de décision – même très simple – est rendue ardue par la quantité de données nécessaires (sans parler des problèmes de qualité). À titre d'exemple, l'un des programmes les plus complets dans ce domaine, celui mené par l'institut VEIKI sur les simulateurs de la centrale de Paks, n'a porté que sur environ 25 interventions humaines différentes, ce qui représentait au plus 25 branches (en fait moins, les interventions n'étant pas toutes distinctes en termes de facteurs d'influence). On ne peut donc pas compter sur une quantification directe de toutes les branches d'un arbre de décision. Les valeurs de probabilité issues d'études statistiques des données du retour d'expérience, d'essais sur simulateurs ou de jugement d'experts ne peuvent concerner que certaines branches particulières de l'arbre : c'est ce qu'on appelle les « probabilités d'ancrage » de l'arbre de décision. Ces « probabilités d'ancrages » sont ensuite utilisées en tant que valeurs cibles dans le calcul de facteurs de pondération qui permettent, selon différentes méthodes analytiques, d'estimer l'ensemble des probabilités des branches de l'arbre.

En conclusion, le modèle d'arbre de décision a été choisi pour ses caractéristiques intéressantes. En premier lieu, il intègre une analyse du processus en identifiant et en hiérarchisant les facteurs d'influences. Ensuite, il résume de manière simple et visuelle le résultat cette analyse et couvre ainsi la complexité des situations. Enfin, il permet, au moyen de calculs analytiques, de quantifier l'arbre de décision en propageant le long de ses branches des facteurs de pondération spécifiques à chaque facteur d'influence et à chaque modalité.

### 3.5. Le recours aux avis d'experts

Pour vérifier le bien-fondé des facteurs d'influence induits de l'observation des exercices de crise et construire les probabilités d'ancrage de l'arbre de décision, l'IRSN a eu recours à la consultation d'experts. Les experts consultés avaient tous une bonne expérience des exercices de crises dans au moins l'un des rôles suivants : scénariste, animateur du centre de crise de l'IRSN, spécialiste du fonctionnement au sein d'une équipe de crise. Les experts ont été consultés au moyen d'un questionnaire dont la structure était cohérente avec l'arbre de décision élaboré par l'IRSN. Le principal objet de cette consultation était de capter les combinaisons « angéliques » (resp. « démoniaques ») de deux ou trois facteurs d'influence conduisant de façon quasi certaine au succès (resp. à l'échec). On demandait aux experts d'évaluer l'influence d'un couple de facteurs dont les modalités seraient favorables (resp. défavorables) sur l'échelle reproduite ci-après et d'indiquer si, par l'adjonction d'un autre facteur à modalité favorable (resp. défavorable), il était quasiment possible de garantir le succès (resp. l'échec). Le tableau 3, issu de Baumont et *al*. (2000), présente un extrait du questionnaire soumis aux experts.

### 3.6. La quantification de l'arbre de décision

L'arbre de décision élaboré par l'IRSN comporte 288 branches. La branche correspondant au cas le plus favorable a été associée à une probabilité d'échec de $10^{-4}$, légèrement inférieure à la meilleure performance issue du modèle employé pour modéliser l'équipe de conduite dans l'EPS de niveau 1. La branche correspondant au cas le plus défavorable a été associée à une probabilité d'échec de 1. Nous avons construit dans un premier temps un arbre binaire (c'est-à-dire qui ne contient que deux modalités par facteur d'influence) en rangeant les facteurs par ordre décroissant d'importance (déduit des réponses des experts). Cet arbre binaire comportait 128 (ou $2^7$) branches.

L'accord entre les experts était suffisant pour identifier deux combinaisons favorables de trois facteurs d'influence conduisant systématiquement au quasi-succès des actions. Par exemple la combinaison d'un bon niveau d'information, d'un scénario facile et d'un délai long a été considérée comme conduisant à une probabilité d'échec de $10^{-4}$, quelle que soit la valeur prise par les autres facteurs. De même, quatre combinaisons défavorables de trois facteurs ont été considérées comme menant systématiquement à l'échec. En outre, l'équipe de quantification a considéré comme certain l'échec de toute action devant être réalisée dans des délais courts et soit dans des conditions d'intervention dégradées, soit avec des moyens d'information et de mesure non satisfaisants. Les probabilités de 72 branches de l'arbre binaire ont ainsi pu être fixées à $10^{-4}$ ou à 1. Il subsistait alors trois blocs de branches non quantifiées compris entre deux branches dont la valeur était connue. Pour chacun de ces blocs, les probabilités de la branche la plus favorable et de la plus défavorable ont été fixées par choix (à des valeurs le plus souvent proches des branches contigües connues) : ce sont les conditions aux limites du bloc (c'est-à-dire les « probabilités d'ancrage »). Ces valeurs ont été fixées par l'équipe de quantification et non par les experts. Cette quantification par choix peut sembler arbitraire, mais elle était limitée à six branches et nécessaire pour ne pas obtenir un arbre dont toutes les valeurs seraient artificiellement tirées vers 1 ou $10^{-4}$. Au sein d'un bloc dont on a ainsi déterminé les conditions aux limites, l'écart de probabilité entre deux branches a été déterminé par un modèle mathématique dit d'« écart algébrique renormalisé », dont le principe peut être résumé comme suit.

L'accord entre les experts est suffisant pour évaluer le poids relatif de quinze combinaisons de deux facteurs (sept favorables et huit défavorables). À chacune des quinze combinaisons est associé un poids algébrique (dont le signe dépend du caractère défavorable ou favorable de la combinaison et dont la valeur absolue résulte du jugement des experts). Pour chaque branche du bloc dont la probabilité inconnue serait $10^{-x}$, on identifie deux sous-ensembles de combinaisons (parmi l'ensemble de quinze précité), respectivement constitués :

- des combinaisons présentes dans la branche la plus favorable du bloc (de probabilité connue $10^{-f}$) et non dans la branche que l'on

cherche à quantifier (on appelle $\Delta_{f1}$ la somme des poids algébriques des combinaisons appartenant à ce sous-ensemble) ;

- des combinaisons présentes dans la branche que l'on cherche à quantifier et non dans la branche la plus favorable du bloc (on appelle $\Delta_{f2}$ la somme des poids algébriques des combinaisons appartenant à ce second sous-ensemble).

On calcule alors l'écart algébrique entre les deux branches $\Delta_f = \Delta_{f1} - \Delta_{f2}$. On évalue de la même manière $\Delta_d$, l'écart algébrique entre la branche que l'on cherche à quantifier et la branche la moins favorable du bloc (de probabilité connue $10^{-d}$ avec $f \leq x \leq d$). $x$ se déduit alors de la formule :

$$(x - f) / (d - x) = \Delta_f / \Delta_d$$

L'arbre complet a ensuite été déduit de l'arbre binaire en utilisant un modèle de propagation simple pour induire les valeurs associées aux branches comportant la modalité « moyenne » du facteur « difficulté de la décision » et la modalité « moyen » du facteur « délai de décision ». Les résultats ont enfin été arrondis (les probabilités associées aux 288 branches de l'arbre ne peuvent prendre que l'une des cinq valeurs suivantes : $10^{-4}$, $10^{-3}$, $10^{-2}$, $10^{-1}$ ou 1). Le détail de la méthode utilisée pour effectuer l'ensemble de ces étapes est présenté dans Baumont et *al*. (2000).

## 4. Limites et perspectives

L'arbre de décision a été achevé en 2000 et est toujours utilisé aujourd'hui dans l'EPS de niveau 2 de l'IRSN. Il comporte son lot d'incertitudes et les probabilités qu'il fournit ne permettent pas un niveau de discrimination supérieur aux puissances de dix. Les premières informations disponibles sur la gestion de l'accident de Fukushima par l'organisation de crise japonaise auraient plutôt tendance à confirmer la pertinence des facteurs d'influence retenus par l'IRSN. Toutefois, ces informations pourraient nous amener à nous interroger sur l'ajout d'autres facteurs, notamment des facteurs sociaux. À titre d'exemple, n'a pas été quantifié dans cet arbre le risque que tout ou partie du personnel de l'exploitant ou des sous-traitants abandonne le site. Or, ce risque a été clairement évoqué par les commentateurs de l'accident, même s'il n'est pas possible de dire à ce jour si de tels abandons de poste ont réellement eu lieu. Il serait également intéressant de réinterroger des experts ayant suivi, en France ou à l'étranger, le déroulement de cet accident pour réévaluer le poids relatif des différents facteurs d'influence.

## Références bibliographiques


Baumont G., F. Ménage, J.R. Schneiter, A. Spurgin et A. Vogel (2000) : "Quantifying Human and Organizational Factors in Accident Management Using Decision Trees: The HORAAM Method", *Reliability Engineering and System Safety*, n° 70, pp. 113-24.

IRSN (2008) : *Face à un accident nucléaire*. Disponible sur www.irsn.fr

Moieni P., A.J. Spurgin et A. Singh (1994) : "Advances in Human Reliability Analysis Methodology", *Reliability Engineering and System Safety*, n° 44, pp. 27-55.

Swain A.D. et H.E. Guttmann (1983) : *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications*, NUREG/CR-1278, United States Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.

VEIKI (Institut hongrois de recherche sur l'énergie électrique) (1997) : *Proposal for an HRA Model*, Institute for Electric Power Research, Budapest.

Complément G

# Les leçons de Fukushima

**Reza Lahidji**
*GREGHEC*

L'accident nucléaire de Fukushima est le premier cas de rejet massif de matière radioactive survenu dans une centrale conçue et exploitée selon les règles en vigueur dans les pays de l'OCDE. Il constitue à ce titre une source unique d'interrogations et d'enseignements pour les spécialistes de la sûreté nucléaire. Parmi les multiples événements qui ont finalement conduit à la catastrophe, ce complément s'intéresse à ce que l'on peut considérer comme ses causes premières : l'écart entre les aléas naturels (séisme, tsunami) qui ont frappé le site et ceux qui avaient été retenus comme références pour son dimensionnement(1), et l'effondrement des systèmes de sûreté provoqué par ce dépassement. La thèse défendue dans ce complément est que ces faits résultent l'un et l'autre d'une prise en compte insuffisante de l'incertitude dans les évaluations de sûreté de la centrale de Fukushima. Un déni d'incertitude a amené les autorités publiques japonaises, comme l'exploitant de la centrale, à ignorer les indications de récurrence de méga-tsunamis sur la côte est japonaise et à ne pas se demander sérieusement si la sûreté de la centrale était à la hauteur d'un tel événement. En dépit des spécificités indéniables du cas japonais, cet aspect de la catastrophe est porteur de conclusions importantes pour les méthodes d'analyse de la sûreté des centrales nucléaires dans le monde.

(1) On appelle dimensionnement d'une installation la détermination, par référence à des aléas internes et externes, de ses caractéristiques de conception afin qu'elle réponde à certains critères de sûreté pré-établis.

La première partie du complément retrace quelques aspects de l'accident, en cherchant notamment à illustrer l'étendue des défaillances causées par le séisme et le tsunami. La deuxième partie analyse les hypothèses sismologiques privilégiées par les autorités japonaises et adoptées dans les évaluations de sûreté des centrales nucléaires, et montre que ce choix était à l'opposé d'une attitude de précaution. La troisième partie esquisse une stratégie de prise en compte des événements très incertains dans la sûreté des centrales qui tienne pleinement compte des enseignements de la catastrophe de Fukushima.

## 1. Le déroulement de la catastrophe

L'accident de Fukushima Dai-Ichi a fait l'objet de plusieurs rapports officiels, notamment ceux du gouvernement japonais à l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (Gouvernment du Japon, 2011a et b), ceux des missions d'enquête ou d'observation dépêchées par l'AIEA (AIEA, 2011), la Nuclear Regulatory Commission américaine (NRC, 2011a), l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire français (IRSN, 2012) et l'Institute of Nuclear Power Operations[2] (INPO, 2011), enfin ceux des commissions d'enquête mis en place par le gouvernement (Investigation Committee, 2011) et par le Parlement (NAIIC, 2012). Notre synthèse s'appuie sur ces rapports, dont les éléments factuels sont largement convergents, pour décrire les principales caractéristiques connues des causes de l'accident. Les données techniques reprises dans les rapports mentionnés proviennent dans une très large mesure de l'entreprise exploitante Tokyo Electric Power Company (TEPCO), et ces informations, qu'elles soient issues des mesures effectuées sur place ou de simulations informatiques, demeurent à ce jour partielles et entachées d'incertitudes. À titre d'exemple, il est impossible de déterminer avec précision à quel moment et dans quelle mesure les cœurs des réacteurs ont été dénoyés[3]. De surcroît, il ne peut être exclu que TEPCO fasse un usage stratégique de l'asymétrie d'information dont elle bénéficie. L'entreprise a en particulier cherché à privilégier de façon constante la thèse selon laquelle les installations de Fukushima Dai-Ichi n'avaient subi aucun dommage sérieux suite au séisme et que toutes leurs défaillances avaient été causées par le tsunami[4]. Cette thèse, qui a été reprise par le gouvernement japonais, est aussi reproduite dans le récit qui suit. Mais il convient de noter

(2) L'INPO est une organisation fondée par l'industrie nucléaire civile américaine après l'accident de Three Mile Island pour développer des normes de sûreté et promouvoir l'échange d'informations (http://www.inpo.info).

(3) C'est-à-dire cessé d'être entièrement recouverts par le fluide réfrigérant.

(4) Voir, à titre d'exemple, le rapport de TEPCO à l'Autorité de sûreté japonaise NISA (Nuclear and Industrial Safety Agency) au sujet de la tenue de la tranche 1 au séisme du 11 mars (TEPCO, 2011).

qu'au moment où ce complément était écrit, elle laissait un certain nombre d'éléments inexpliqués[5] et ne pouvait pas être considérée comme établie[6].

Le 11 mars 2011 à 14 heures 46, un tremblement de terre de magnitude 9 MW, le quatrième séisme le plus puissant jamais enregistré sur la planète, se produisit à 25 km de profondeur au large de la côte est du Japon, à 130 km de la ville de Sendai. Le séisme causa des dommages importants dans une vaste part de Honshu, la plus grande île de l'archipel japonais. Il provoqua surtout des tsunamis d'une ampleur exceptionnelle qui dévastèrent la côte nord-est de l'île. Les pertes humaines de cet événement ont été estimées à 15 800 morts, dont près de 90 % auraient péri de noyade, et 3 200 disparus, le nombre d'évacués à 343 000, le nombre d'immeubles détruits ou endommagés à 810 000 et la valeur totale des seules destructions physiques à 160 milliards d'euros, soit 3 % du produit intérieur brut japonais (Gouvernment du Japon, 2011b et 2012). Le tremblement de terre de Tohuku est la catastrophe naturelle la plus meurtrière subie au Japon depuis près d'un siècle[7] et la plus coûteuse au monde à ce jour.

Le séisme et les tsunamis entraînèrent la défaillance d'une grande partie du réseau de distribution d'électricité dans le nord de Honshu. D'importance mineure à première vue à l'échelle des conséquences de la catastrophe naturelle, l'interruption de la fourniture d'électricité eut pourtant des répercussions importantes sur le fonctionnement de nombreuses infrastructures, notamment les quatre centrales nucléaires de la côte nord-est de l'île de Honshu. Dans les trois centrales de Onagawa, Fukushima Daini, et Tokai Daini, cette succession d'événements causa des dommages sérieux, mais pas d'accident impliquant la fusion du cœur d'un réacteur. Le site de Fukushima Daini, en particulier, fut très affecté par le tsunami mais conserva une ligne d'alimentation électrique externe, ce qui permit d'éviter un accident grave dans l'un de ses quatre réacteurs d'une puissance de 1 100 MWe. La centrale de Fukushima Dai-Ichi, en revanche, subit une perte d'alimentation électrique intégrale avec des conséquences désastreuses.

(5) À titre d'exemple, en essayant de réconcilier les concentrations de radionucléides relevées en différents points de la planète avec le terme source des réacteurs de Fukushima Dai-Ichi, Stohl et *al*. (2011) parviennent à la conclusion que les émissions de gaz noble Xénon 133 ont dû commencer immédiatement après le séisme, et non le 12 mars comme les faits rapportés par TEPCO le laissent à penser. De telles émissions peuvent certes être provenues d'une autre source que Fukushima Dai-Ichi, mais cette hypothèse semble peu vraisemblable.

(6) Comme l'a souligné la Commission indépendante d'enquête sur l'accident de Fukushima, les conditions d'accès au site ne permettent aujourd'hui ni de valider ni de rejeter définitivement cette thèse, même s'il existe un faisceau d'indications contraires (par exemple la perte probable de l'alimentation de secours avant l'arrivée du tsunami, ainsi que des signes de fuite observés par les employés tout de suite après les secousses sismiques) (NAIIC, 2012).

(7) Précisément depuis le grand tremblement de terre de Kanto en 1923.

La centrale de Fukushima Dai-Ichi était exploitée par l'entreprise TEPCO, par ailleurs propriétaire des installations nucléaires de Fukushima Daini et de Kashiwazaki-Kariwa. Le site comprenait six réacteurs, dont les quatre premiers étaient disposés côte à côte sur une plate-forme située dix mètres au-dessus du niveau de la mer et les deux derniers un peu plus au nord et en léger surplomb. Le réacteur 1, doté d'une puissance de 460 MWe, avait été mis en fonctionnement en 1971 ; il s'agissait de l'une des premières tranches construites au Japon. Les réacteurs 2 à 5, entrés en fonctionnement en 1974, appartenaient à la même génération, mais étaient d'une puissance plus élevée (784 MWe). Le réacteur 6, enfin, était de conception plus récente et sa puissance était de 1 100 MWe. Les six unités étaient des réacteurs à eau bouillante (REB), dont la différence fondamentale par rapport aux réacteurs à eau pressurisée (REP) présentés dans le rapport principal (section 2) est l'absence de fluide secondaire (les turbines génératrices d'électricité y sont directement actionnées par la vaporisation du fluide primaire).

Des six réacteurs de la centrale de Fukushima Dai-Ichi, trois étaient à l'arrêt le 11 mars 2011 pour des activités normales de maintenance et de renouvellement du combustible. Dans l'unité 4, le combustible avait été entièrement retiré du cœur et déposé dans la piscine de refroidissement du combustible usé, de façon à permettre la conduite de travaux de maintenance de la cuve. Dans les unités 5 et 6, qui étaient en attente de redémarrage, le combustible avait été rechargé dans le cœur.

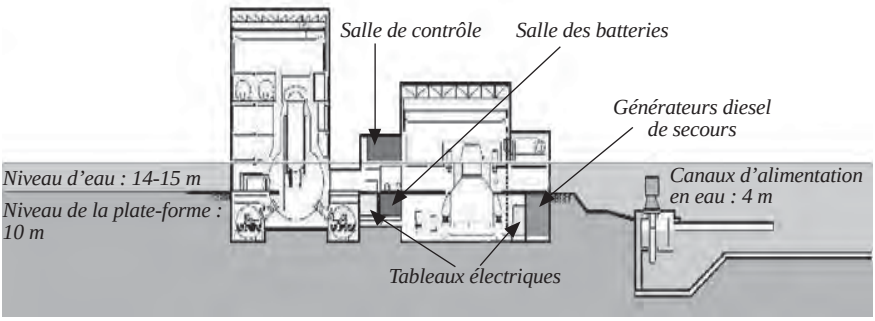
Selon les informations transmises par l'exploitant TEPCO, dans les trois autres unités, la chute automatique des grappes de contrôle aurait interrompu la réaction en chaîne dès la détection des premières secousses sismiques[8] (c'est-à-dire avant la défaillance des sources électriques externes sous l'effet du séisme). Dans l'ensemble des tranches, les circuits normaux de refroidissement du cœur se seraient fermés et les enceintes de confinement se seraient placées en isolement (*containment isolation*). Tous les générateurs au diesel disponibles se seraient mis en marche, rétablissant l'alimentation des systèmes importants de chaque unité, notamment ceux destinés au refroidissement d'urgence du cœur. Dès la fin des secousses, les opérateurs semblent avoir engagé leurs plans d'urgence, avec l'activation du Centre de contre-mesures pour catastrophe au siège de l'entreprise TEPCO à Tokyo et celle du Centre de réponse d'urgence sur le site. L'ensemble des procédures destinées à prévenir un accident majeur en cas de perte des sources extérieures d'alimentation électrique semble donc avoir bien fonctionné.

À 15 heures 27, quarante et une minutes après le séisme, une vague d'une hauteur de quatre mètres vint se briser contre la digue protégeant le site de Fukushima Dai-Ichi. Cette première vague fut suivie à 15 heures 35 d'une seconde, qui submergea cette fois la digue de 6,5 mètres ainsi que le marégraphe, dont la hauteur d'observation maximale était de 7,5 mètres. Cinq autres vagues suivirent, portant l'eau à une hauteur totale de plus

(8) Comme nous l'expliquons plus bas, les centrales japonaises sont équipées d'un dispositif d'arrêt d'urgence en cas de détection de mouvements sismiques supérieurs à une certaine valeur.

de 14 mètres et inondant les plates-formes sur lesquelles les installations centrales ont été construites (voir figure). En contrebas, l'eau s'engouffra dans les canaux d'alimentation, endommageant les pompes, causant des courts-circuits et entraînant une perte immédiate de la source froide pour les six tranches. Dans les bâtiments principaux, elle inonda les parties inférieures, notamment les salles abritant les tableaux électriques et la plupart des groupes électrogènes. Deux membres des équipes de conduite périrent noyés dans le sous-sol du bâtiment des turbines de l'unité 4.

**Situation des unités 1, 2, 3 et 4 de la centrale de Fukushima Dai-Ichi**




*Source* : INPO (2011).

Les unités 1 à 5 possédaient deux groupes électrogènes au diesel chacune, contre trois pour l'unité 6, la plus récente. Dix de ces groupes, situés en sous-sol et refroidis à l'eau de mer, furent mis hors d'usage. Des modifications introduites au cours des années 2000 afin d'améliorer la sûreté avaient conduit à placer les trois groupes restants, attachés aux unités 2, 4 et 6, dans des bâtiments séparés, à les élever au-dessus du niveau du sol et à choisir, dans leur cas, un mode de refroidissement par air. Le groupe de l'unité 4 était en arrêt planifié pour maintenance. Celui de l'unité 2 resta opérationnel, mais le tableau auquel il était relié se situant pour sa part en sous-sol, il se trouva hors d'usage. Au total, seul un groupe électrogène rattaché au réacteur 6 put finalement fonctionner.

À 15 heures 41, cinq des six réacteurs de Fukushima Dai-Ichi étaient totalement privés de courant alternatif et leurs systèmes de refroidissement ne fonctionnaient plus. Pour la première fois dans l'histoire de l'industrie nucléaire, les opérateurs d'une centrale faisaient face simultanément à plusieurs situations d'accident grave.

L'évacuation de la puissance résiduelle des cinq réacteurs affectés ne reposait plus que sur des systèmes de refroidissement d'urgence faisant appel à des batteries et, selon les unités, des systèmes passifs de condensation ou des turbines. Cet ensemble de moyens permet en principe d'éviter le

dénoyage du cœur pendant quelques heures en attendant d'être relayé par un système de refroidissement pérenne. Dans l'unité 5, les équipes réussirent à maintenir ainsi un refroidissement suffisant de la matière fissile située dans le cœur et dans la piscine du combustible et, le 15 mars, au cinquième jour de la catastrophe, à établir une ligne avec le générateur diesel opérationnel de l'unité 6. Cela permit de parvenir à l'arrêt à froid des deux réacteurs cinq jours plus tard, le 20 mars. Mais elles ne parvinrent pas à maîtriser la dynamique accidentelle dans les tranches 1 à 3, et ne le purent dans la tranche 4 qu'à la faveur des circonstances (c'est-à-dire du fait que le cœur avait été vidé pour maintenance). Dans les unités 1 et 2, les batteries étaient inondées, rendant inopérants les systèmes d'instrumentation et de contrôle. Dans l'unité 3, les batteries étaient en état de fonctionner, mais c'était leur système de recharge qui était inondé. Dans les trois tranches, les systèmes de refroidissement d'urgence ne semblent pas avoir eu le rendement attendu après leur mise en marche, et se sont parfois arrêtés de façon intempestive. De surcroît, la mise en place de moyens d'alimentation électrique et/ou de refroidissement alternatifs s'est avérée bien plus ardue et longue que prévu. Sur le terrain des opérations, la dégradation des structures, l'accumulation de débris, l'absence d'éclairage et l'insuffisance des moyens de communication rendaient les conditions de travail très difficiles. À titre d'exemple, le centre de contrôle d'urgence du site ne disposait, pour communiquer avec les équipes de conduite, que d'une ligne téléphonique par poste de contrôle, chaque poste étant commun à deux tranches. La multiplication des situations d'urgence entraînait une dispersion des équipes et des moyens de gestion de crise. À plusieurs reprises, les responsables du site ont dû ordonner son évacuation en raison de la survenue de répliques sismiques et de la présence de niveaux de radioactivité de plus en plus élevés. Enfin, trois grandes explosions causées par l'échappement d'hydrogène des enceintes de confinement et son accumulation dans les bâtiments des réacteurs 1, 3 et 4 sont venus aggraver encore l'état du site et ruiner certains efforts des équipes[9].

Par défaut d'injection d'eau, le cœur du réacteur 1 semble être entré en fusion dès la soirée du 11 mars, celui du réacteur 3 dans la matinée du 13 mars et celui du réacteur 2 en début d'après-midi du 14 mars. Dans les trois cas, la fusion semble s'être étendue jusqu'au centre du cœur ; de grandes quantités de matière radioactive ont été rejetées sous forme gazeuse ou liquide, et une quantité plus ou moins importante de corium[10] aurait coulé au fond de la cuve. Il n'est pas possible, à l'heure actuelle, d'avoir une idée précise de l'état des trois cuves.

Dans trois unités de la centrale, l'aléa naturel et les séquences accidentelles qu'il a déclenchées ont donc neutralisé les dispositifs de défense en profondeur qui étaient, selon les Plans d'urgence interne, censés éviter la

(9) La piste aujourd'hui privilégiée pour expliquer l'explosion de l'unité 4 est un reflux de l'hydrogène évacué de l'enceinte de confinement du réacteur 3.

(10) Amas de combustible et d'éléments de structure fondus provenant de la fusion du coeur d'un réacteur nucléaire.

survenue d'un accident grave. Un seul événement initiateur[11] a ainsi mené pas à pas à l'arrêt du refroidissement, la fusion du cœur et enfin la perte de confinement avec rejets précoces et massifs. La défaillance commune (ou mode commun) des mécanismes de prévention et de gestion des accidents graves, qui sont censés être indépendants, est la caractéristique la plus frappante de l'accident de Fukushima. Contrairement aux cas de Three Mile Island et Tchernobyl, une succession d'erreurs humaines ou de défaillances mineures n'est pas en cause ici. Tout laisse à penser qu'une fois survenue l'agression extérieure, la dynamique accidentelle était implacable dans la centrale de Fukushima Dai-Ichi.

## 2. La prise en compte des risques sismiques

Le Japon est situé dans l'une des régions de la planète les plus exposées aux séismes, à l'intersection de quatre plaques tectoniques, dont deux sont océaniques (plaques Pacifique et Philippine) et deux continentales (plaques eurasienne et d'Okhotsk). Alors que le pays et ses mers avoisinantes recouvrent moins de 1 % de la surface du globe, ils ont été le siège de 13 % des tremblements de terre d'une magnitude supérieure ou égale à 7 MW survenus dans le monde entre 2002 et 2011[12].

Peu de parties du territoire sont abritées des risques sismiques, même si ceux-ci sont particulièrement importants sur l'ensemble de la côte pacifique, où les plaques océaniques plongent sous les plaques continentales. Dans cette zone de subduction, le glissement des plaques engendre des déformations qui se relâchent lorsqu'un segment situé sur l'une d'elles ou à leur intersection rompt. Les séismes qui en résultent causent de fortes secousses à la surface et s'étendent à de vastes zones. Ils s'accompagnent très souvent de tsunamis qui peuvent toucher des côtes à une grande distance de leur épicentre. Leur magnitude peut excéder 8 MW lorsque la période d'accumulation de tension est de l'ordre du siècle. C'était le cas du grand tremblement de terre du Kanto, qui dévasta Tokyo en 1923 en faisant plus de 100 000 victimes et des millions de sans-abri et marqua une étape dans la construction du Japon moderne. Lorsque l'énergie libérée a été emmagasinée pendant des millénaires, comme pour le séisme de Tohoku du 11 mars 2011, la magnitude 9 MW peut être dépassée (Le Pichon, 2011).

Les pressions exercées sur les plaques tectoniques peuvent également engendrer des séismes loin des zones de subduction, à des profondeurs inférieures à 20 km, le long de zones de faille. Ces séismes peuvent avoir des périodes de retour de l'ordre du millénaire, voire de la dizaine de milliers d'années. Ils sont habituellement de plus faible durée et de magnitude plus

(11) En raison de son ampleur et de sa localisation, le séisme du 11 mars 2011 ne pouvait que s'accompagner d'un tsunami géant. De ce fait, on ne peut pas parler de deux aléas naturels mais bien d'un aléa et de son corollaire.

(12) Nos calculs, à partir la base de données sur les séismes du *United States Geological Survey*, http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic

limitée que les précédents, mais ils peuvent causer des dommages considérables à l'échelle d'une ville en raison de leur proximité à la surface. Le grand tremblement de terre de Hanshin-Awaji qui affecta le port de Kobe le 17 janvier 1995, fit plus de 6 400 morts et endommagea 400 000 immeubles, était un séisme superficiel causé par la faille dite de Nojima.

Dans cette partie, nous cherchons à analyser la manière dont les risques sismiques étaient pris en compte au Japon à la veille de la catastrophe, d'abord à un niveau général, puis dans le cas particulier des installations nucléaires.

### 2.1. Sismicité et sismologie au Japon

Le Japon a réalisé, depuis des décennies, un effort continu pour identifier et étudier les sources de sismicité sur son territoire. Un grand nombre de centres universitaires et d'institutions publiques et privées sont engagées dans la recherche en géologie, en sismologie ou en tectonique. Leurs travaux sont souvent considérés de niveau mondial et ils disposent d'un équipement technique de pointe. L'une des spécificités du Japon est l'intensité du lien entre cette production scientifique et la politique publique en matière réglementaire, d'aménagement du territoire ou d'offre de services publics. Un cadre a été mis en place dès le début des années soixante pour coordonner l'ensemble des actions de l'État et des collectivités territoriales ayant un rapport avec la prévention des catastrophes, ce qui constitue au Japon un domaine extrêmement vaste(13). Il définit une hiérarchie détaillée de textes législatifs et réglementaires et d'instances de décision et organise, à chaque niveau, les interactions entre la politique publique et la recherche scientifique(14).

Le désastre de Kobe, qui fut vécu au Japon comme une grave défaillance de la politique publique de prévention, conduisit en fait à une relance et un renforcement de cette approche. Quelques mois après le séisme, une loi exceptionnelle(15) lança un vaste ensemble de réformes, au nombre desquels était la création d'un Centre pour la promotion de la recherche sismique. Le Centre devait œuvrer à une « politique nationale compréhensive de prévention des désastres sismiques », notamment en « communicant et en appliquant les résultats de la recherche »(16). En 1999, il produisit un document de doctrine intitulé « La promotion de la recherche sismique » dans lequel il affichait sa volonté d'élaborer des cartes d'aléas sismiques pour l'ensemble du territoire national et d'en faire le principal outil d'information et d'aide

(13) Disaster Countermeasures Basic Act du 15 novembre 1961.

(14) Pour une revue des politiques générales d'évaluation et de gestion des risques sismiques au Japon, on pourra se reporter à OCDE (2009).

(15) *Special Measures Law on Earthquake Disaster Prevention* du 16 juin 1995.

(16) Le Centre, dont le nom anglais est Headquarters for Earthquake Research Promotion, est rattaché au ministère de l'Éducation, de la Culture, du Sport, de la Science et de la Technologie (http://www.jishin.go.jp/main/index-e.html).

à la décision en matière de gestion des risques de tremblements de terre (HERP, 1999, p. 15). Dans ce but, le document identifiait trois domaines de recherche prioritaires : la collecte et l'analyse de données géologiques, sismiques et tectoniques ; l'identification aussi étendue que possible des failles actives ; et la recherche sur la prédiction des tremblements de terre, c'est-à-dire l'évaluation fiable des probabilités d'occurrence de séismes, caractérisés par leur localisation et leur magnitude, sur des périodes suffisamment longues. Des avancées rapides dans ces trois directions devaient s'enchaîner pour conduire à une prévision toujours plus précise et détaillée des risques sismiques. Le Centre décrivait en outre la façon dont les ressources publiques allaient être orientées vers ces domaines.

Dans les années qui suivirent, le Japon développa son appareillage technologique déjà conséquent, pour en faire le réseau d'observation des mouvements de la croûte terrestre le plus dense au monde(17). Les groupes de travail du Centre, qui regroupaient un grand nombre d'experts de renom, passèrent en revue quelque 2 000 failles actives identifiées dans le pays, et en sélectionnèrent un certain nombre qu'ils estimèrent particulièrement dangereuses. Rassemblant ces failles avec les principaux séismes-types associés aux zones de subduction, ils constituèrent une liste de 98 scénarios principaux de tremblements de terre, dont ils évaluèrent les magnitudes et probabilités. En 2005, le Centre publia finalement le résultat de ces estimations sous forme de cartes (de probabilité) d'aléas qui devinrent une pierre angulaire pour la politique gouvernementale de gestion des risques sismiques (OCDE, 2009).

L'orientation scientifique à laquelle les puissances publiques ont fortement contribué ne faisait pas l'unanimité dans la communauté des sismologues (et le fait encore beaucoup moins depuis la catastrophe de Fukushima). Deux points cristallisaient les divergences : la prévisibilité des séismes et le caractère représentatif du dernier siècle, sur lequel se concentre une grande partie des informations quantitatives disponibles.

Les modèles d'évaluation de probabilités de séisme se fondent sur une hypothèse dite de *seismic gap*, selon laquelle les mouvements des plaques tectoniques, lorsqu'ils s'accompagnent de déformations, provoquent des séismes de façon monotone. L'absence prolongée de séisme dans une zone de subduction est alors synonyme de l'augmentation de sa probabilité. Cependant, une partie importante des sismologues s'est détournée de cette vision en vogue dans les années soixante-dix, pour estimer que l'influence

(17) Au nombre des institutions engagées dans cet effort, l'Institut géographique national (Geospatial Information Authority of Japan) enregistre les mouvements des plaques tectoniques à partir d'un réseau de plusieurs milliers de stations géodésiques connectées par GPS, avec un degré d'imprécision estimé inférieur au centimètre (http://www.gsi.go.jp/ENGLISH/index.htm). L'Institut national de recherche en sciences de la terre et en prévention des catastrophes (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention) est, pour sa part, à la tête d'un réseau de plusieurs milliers de sismographes permettant de détecter et d'étudier les mouvements sismiques lents, de très faible ou au contraire de grande amplitude (http://www.bosai.go.jp/e/).

des mouvements tectoniques était plus complexe et ne permettait pas une prévision fiable de l'activité sismique (Geller, 2011). Si l'approche reste fréquemment utilisée pour des séismes de faible profondeur et de magnitude élevée (supérieure à 6 ou 6,5 MW), c'est uniquement comme une solution empirique au problème de rareté des données.

Même si l'on accepte l'hypothèse de récurrence régulière des séismes majeurs, il reste à se donner une période d'inférence raisonnable. La sismologie officielle japonaise s'appuyait essentiellement sur travaux portant sur une période d'observation de l'ordre du siècle, pour en dériver un ensemble de séismes-type pour lesquels des prévisions étaient établies. En particulier, dans la zone de subduction appelée fosse du Japon, ces prévisions considéraient une succession de segments ayant chacun leur séisme caractéristique, et dont la magnitude était directement liée à la taille du segment : Ibaraki, Fukushima, Miyagi, Sanriku, Tokachi. La possibilité d'une rupture en cascade de ces segments causant un séisme d'ampleur beaucoup plus grande était écartée. Or, depuis la fin des années soixante-dix, tous les travaux ont indiqué que, dans la région de la fosse du Japon, seule une fraction de 20 à 25 % du mouvement de subduction de la plaque Pacifique avait été compensée par les séismes enregistrés au cours du siècle dernier (Le Pichon, 2011). Ce déficit sismique pouvait avoir deux explications : soit le mouvement tectonique se faisait sans frottement, et était donc asismique, soit des séismes importants étaient ignorés dans l'histoire sismique japonaise. En 2001, des travaux universitaires ont en outre établi que l'un des principaux séismes enregistrés dans cette région, celui de Jogan en 869, avait été accompagné d'un tsunami géant, dont les traces ont été retrouvées jusqu'à quatre kilomètres à l'intérieur des terres dans la baie de Sendai (Minoura et *al*., 2001). Trouvant des indications de la récurrence de tels événements environ une fois par millénaire depuis la Préhistoire, ils en ont déduit que la survenue d'un méga-séisme pouvait être imminente.

Par ailleurs, les données géodésiques traditionnelles montraient qu'au nord du Japon, la croûte terrestre subissait une déformation importante depuis plusieurs siècles, ce qui contredisait l'hypothèse d'asismicité. C'est notamment ce fait troublant qui a poussé les autorités japonaises à mettre en place, à partir de 1994, un réseau dense de stations géodésiques satellitaires. Or les données fournies par ce réseau ont confirmé la déformation, et permis à plusieurs études de montrer, à partir de 1998, que la plaque eurasienne était totalement bloquée sur la plaque pacifique le long du plan de subduction de la fosse du Japon (Le Pichon et *al*., 1998). Ceci confirmait la survenue à terme d'un très grand séisme.

Il existait, au total, un faisceau très important d'arguments théoriques et empiriques contre les estimations probabilistes de la sismologie officielle japonaise. Deux points nous semblent particulièrement remarquables dans cette situation de controverse scientifique. En premier lieu, les arguments opposés à la position officielle se sont rassemblés à partir de la deuxième moitié des années soixante-dix, alors que la centrale de Fukushima était

déjà construite. Au moment où il eut lieu, le choix du site, dans un pays tel que le Japon, semblait très approprié du point de vue de la sismologie (Henry, 2011). Le second aspect est que les instances publiques ne paraissent avoir fait aucune référence aux différentes thèses scientifiques en présence dans des documents officiels. Le document de doctrine du Centre pour la promotion de la recherche sismique ne fait pas mention de l'incertitude scientifique portant sur le phénomène sismique (HERP, 1999). Dans le rapport qui accompagnait la publication de ses cartes d'aléas et exposait la méthodologie suivie, le Centre discutait brièvement du caractère incertain de divers paramètres des modèles mis en œuvre, sans chercher à donner une indication, même qualitative, de son ampleur, et surtout sans la moindre évocation d'éventuelles incertitudes relatives à la validité de ces modèles eux-mêmes.

### 2.2. Risque sismique et sûreté nucléaire

Le secteur nucléaire japonais a dû lui aussi prendre des dispositions de sûreté particulièrement draconiennes en raison de l'extraordinaire exposition du territoire du Japon aux risques sismiques. En premier lieu, les centrales japonaises ont toutes été situées sur des terrains rocheux, où les bâtiments abritant les réacteurs ont été en partie construits en sous-sol, souvent sur plusieurs dizaines de mètres, ce qui leur permet de bénéficier d'une atténuation importante des ondes sismiques. À la centrale de Kashiwazaki-Kariwa, par exemple, les mouvements enregistrés au niveau des fondations des bâtiments de réacteurs sont estimés représenter entre 40 et 60 % de ceux à la surface de l'assise rocheuse (NSC, 2009, p. 48). Chaque centrale a en outre été dotée d'un réseau de capteurs sismiques pouvant commander le système d'arrêt d'urgence des réacteurs dès qu'un certain niveau de secousse est dépassé. Les responsables japonais de la sûreté ont également développé une approche originale sur le plan méthodologique. Telle qu'initialement élaborée en 1978, la réglementation japonaise relative au dimensionnement sismique des installations nucléaires s'inspirait du principe américain du double séisme de référence pour chaque site[18]. Mais outre la prise en compte de tous les tremblements de terre enregistrés dans la région, elle supposait, au moins dans ses principes, un effort particulier d'identification des failles susceptibles d'être actives, notamment par l'analyse géologique. La période d'activité considérée était de 10 000 ans pour le « séisme de dimensionnement maximal » (équivalent du séisme S1) et de 50 000 ans

(18) Depuis l'adoption des critères généraux de conception des réacteurs en 1971, la réglementation américaine distingue deux événements sismiques de référence : un séisme dont l'occurrence pendant la durée de vie de l'installation est considérée crédible, et qui sert de base à la conception générale, et un séisme maximal que l'on retient pour la construction des scénarios d'accident les plus graves. Cette méthodologie a été reprise par de nombreux pays, notamment la France où les deux événements de référence ont été appelés séisme majoré de sécurité (SMS) et séisme maximal historiquement vraisemblable (SMVH), ainsi que par l'AIEA, qui a adopté en 1979 la dénomination internationale S1 et S2 pour désigner les deux séismes (AIEA, 1979).

pour le calcul du « séisme de dimensionnement extrême » (équivalent du séisme S2). Pour ce dernier, elle imposait de surcroît, la prise en compte d'un séisme « hypothétique » de faible profondeur et de magnitude 6,5 MW, représentant la famille d'événements que l'on ne parvenait pas à associer à une faille spécifique. Par ailleurs, lors de la construction des premières centrales, les bâtiments, systèmes ou composantes des installations nucléaires ont été répartis en quatre classes selon leur importance pour la sûreté.

En 2006, la réglementation japonaise fit l'objet d'une réforme importante destinée à tirer des enseignements de certains événements sismiques et à renouveler son outillage scientifique (NSC, 2006). Le désastre de Kobe, en particulier, avait quelque peu ébranlé la confiance dans la capacité des scientifiques à identifier les aléas sismiques et à anticiper leurs effets en surface, puisque la faille, bien que connue, était jusqu'à lors considérée peu dangereuse. Ce doute fut renforcé par la survenue, au cours des années suivantes, de plusieurs séismes de faible profondeur et d'une magnitude proche de 7 MW à partir de failles inconnues, notamment celui de Chetsu en 2004, durant lequel des secousses exceptionnelles furent observées. On abandonna alors le double séisme de référence au profit d'un seul événement « enveloppe » pour lequel on calculerait deux valeurs de mouvement au sol, l'une « de sûreté », considérée maximale, et l'autre « de dimensionnement », égale à une fraction supérieure à la moitié de la première. On intensifia la recherche des failles actives par le biais de l'introduction de nouvelles méthodes de relevé et d'analyse géologique et d'une extension de la période d'activité considérée à la fin du Pleistocène (80 000 à 130 000 ans avant notre ère). On réforma l'approche empirique traditionnelle d'évaluation des spectres de réponse et l'on renforça les exigences réglementaires relatives aux catégories d'équipements. On prit le parti, enfin, d'évaluer la probabilité d'un dépassement des valeurs d'accélération au sol retenues et d'en explorer les conséquences à l'aide d'une évaluation probabiliste de sûreté (EPS). Le guide réglementaire de 2006 introduisit également une exigence explicite de prise en compte des aléas associés aux séismes. Au sujet des tsunamis, il recommandait qu'un niveau d'eau maximal soit déterminé en tenant compte à la fois de l'ensemble des précédents historiques et des résultats de modélisation, avec pour ces derniers l'inclusion d'une marge raisonnable d'incertitude. Le guide reprenait en pratique les grandes lignes d'une méthode d'évaluation des tsunamis à usage des centrales électronucléaires publiée en 2002 par la société japonaise des ingénieurs civils. La méthode indique qu'en raison de l'ampleur des incertitudes affectant l'évaluation des tsunamis, et de la diversité de leurs sources, il est important de procéder à un nombre important de simulations ; elles consistent à faire varier les séismes de référence et les valeurs paramétriques, et à retenir la valeur maximale entre toutes celles obtenues et les précédents historiques (JSCE, 2002).

Protégé par une réglementation très restrictive, le secteur nucléaire japonais semblait, jusqu'à ces dernières années, peu vulnérable aux aléas sismiques. À diverses reprises, des centrales nucléaires avaient été affec-

tées par des séismes importants, mais à chaque fois, elles étaient restées à l'intérieur de leurs limites de dimensionnement et n'avaient subi aucun dommage significatif. Cet état de choses changea brutalement le 16 juillet 2007, lorsqu'un séisme de magnitude 6,6 MW, dont l'épicentre était situé en mer du Japon, affecta la centrale nucléaire de Kashiwazaki-Kariwa. Avec 7 réacteurs et une puissance totale de 8 200 MWe, la centrale était le plus grand site de production d'électricité au monde. Alors que ses spécifications para-sismiques étaient comprises entre 0,17 g dans l'unité 2 et 0,28 g dans l'unité 1, des accélérations au sol de 0,62 et 0,69 g y furent respectivement enregistrées(19). Le séisme eut pour conséquence directe des fuites mineures de liquide et de gaz radioactifs et un début d'incendie dans un bâtiment secondaire. Aucun dommage visible ne fut subi par les équipements importants pour la sûreté, ce qui montra que l'accumulation d'hypothèses conservatrices dans la conception de la centrale avait suffi à compenser l'insuffisance de la valeur de dimensionnement. Mais l'ampleur des secousses avait à ce point dépassé les prévisions des concepteurs, et l'étendue des marges effectivement disponibles était si incertaine, que la bonne tenue des installations constitua une forme d'heureuse surprise. Pour la première fois, le Japon fit appel à une mission d'enquête de l'AIEA pour qu'elle contribue à établir un retour d'expérience de l'événement. Bien que se montrant rassurante quant à la sûreté de la centrale, celle-ci souligna la nécessité de réévaluer l'aléa sismique à Kashiwazaki et en particulier de déterminer si une faille active était présente sous la centrale. Des investigations ultérieures montrèrent en effet que la faille responsable du séisme de Niigataken Chetsu-Oki était considérablement plus longue que ne l'avaient estimé les autorités de sûreté et que, contrairement à ce que pensaient ces dernières, elle était active. Il apparut surtout que l'exploitant des installations, l'entreprise TEPCO, avait découvert ces faits en 2003 mais avait omis de les communiquer aux instances publiques (NSC, 2009). Certains sismologues soutinrent que dans d'autres cas aussi, des failles connues n'avaient pas été prises en compte lors des procédures d'autorisation et d'inspection de centrales (Ishibashi, 2007).

La réponse officielle des autorités japonaises à ces événements fut d'exiger une mise en œuvre rapide de la nouvelle réglementation adoptée en 2006. Les normes sismiques furent relevées dans toutes les centrales japonaises, parfois de façon spectaculaire. À Kashiwazaki-Kariwa, qui fut la première centrale faisant l'objet d'une revue basée sur le nouveau guide réglementaire, l'exploitant accepta d'engager des modifications permettant, en principe, d'augmenter de plus de 0,5 g les valeurs de référence en termes de pic d'accélération au sol, les portant à un niveau compris entre 0,75 et

(19) L'accélération au sol est considérée comme la mesure la plus significative de l'intensité de secousses sismiques. Ses deux unités les plus courantes sont le Gal (1 Gal = 1 cm.s–2) et l'accélération de la gravité terrestre g (1 g = 980,665 Gal).

0,86 g selon les tranches[20]. Sous l'effet des inspections nécessitées par le séisme et par les travaux de renforcement, la centrale resta entièrement à l'arrêt pendant 21 mois, avant que quatre de ses tranches ne soient progressivement autorisées à redémarrer entre mai 2009 et novembre 2010. Les trois dernières sont restées inactives à ce jour.

Les révélations de la Commission indépendante d'enquête sur l'accident de Fukushima viennent cependant de jeter une ombre sur la portée réelle de cette prise de conscience (NAIIC, 2012). À Fukushima Dai-Ichi, les nouvelles normes assuraient en principe le maintien des fonctions de sûreté pour des accélérations au sol maximales comprises entre 0,45 et 0,50 *g* selon les tranches dans le sens horizontal, légèrement moins dans le sens vertical. L'événement ayant servi de référence pour leur calcul était un séisme de magnitude 7,1 MW survenant au large de Fukushima. Outre ces dispositions générales, les équipements électriques tels que les groupes électrogènes, les batteries et les tableaux faisaient partie des systèmes prioritaires qui avaient été placés en sous-sol pour les protéger contre les effets d'amplification des mouvements sismiques causés par les structures. Mais alors que le délai imparti pour s'assurer de la conformité des centrales avec les nouvelles normes sismiques s'achevait en juin 2009, il s'avère que l'entreprise TEPCO n'avait produit à cette date que des rapports concernant certaines parties des six réacteurs de Fukushima Dai-Ichi. Cette vérification partielle n'avait pas nécessité de travaux d'amélioration substantiels, ce qui n'avait pas empêché l'autorité de sûreté japonaise, la NISA, d'en accepter le principe. La TEPCO, de son côté, avait décidé unilatéralement de surseoir à la réévaluation et la mise aux normes complète du site jusqu'en janvier 2016. Les investigations menées après l'accident ont montré que différentes parties de plusieurs réacteurs, notamment des éléments de tuyauterie, ne présentaient pas, au moment de l'accident, une résistance suffisante au regard de la réglementation de 2006.

En matière de risques de tsunami, les dispositions prises à Fukushima étaient d'une part l'emplacement du site, à dix mètres au-dessus du niveau de la mer, et de l'autre une digue de près de six mètres protégeant les canaux d'approvisionnement en eau de la centrale, situés en contrebas. Lors de la demande d'autorisation de construction sur le site de Fukushima Dai-Ichi, le tsunami choisi comme référence de dimensionnement avait été celui provoqué par un tremblement de terre de magnitude 9,5 MW en 1960 au Chili. Dans la zone d'emplacement de la centrale, l'eau avait alors atteint

(20) À titre de comparaison, la centrale ayant la valeur de dimensionnement la plus élevée aux États-Unis est celle de Diablo Canyon, située dans une zone fortement sismique de Californie, avec 0,75 g. Dans des zones à faible sismicité, la valeur d'accélération fréquemment retenue est de 0,1 g, que de nombreux pays (dont la France) ont imposée comme minimum pour les installations nucléaires. Il faut noter que cette exigence minimale n'est guère contraignante, puisque selon certaines estimations, une norme inférieure n'engendrerait aucune contrainte propre pour la conception de structures telles que des centrales nucléaires ou pour celle de leurs systèmes et composantes (Stevenson, 2003). En France, les valeurs retenues sont généralement comprises entre 0,1 et 0,2 g.

une hauteur de 3,1 m. En 2002, l'exploitant TEPCO avait choisi de réévaluer l'aléa et avait alors retenu, sur la base d'un séisme de magnitude 7,9 MW survenu en 1938 au large de Fukushima, une hauteur corrigée à 5,4 – 5,7 m. Il avait alors été décidé de surélever de vingt centimètres deux moteurs de pompe situés au niveau du canal d'approvisionnement de l'unité 6, et de placer trois groupes électrogènes refroidis par air à l'écart et en hauteur. Ces groupes appartenaient aux unités 2, 4 et 6, mais comme nous l'avons vu, les équipements électriques auxquels ils étaient reliés n'avaient pas fait l'objet de protections adéquates. La publication en 2001 des résultats scientifiques concernant le méga-tsunami de Jogan et, plus généralement, l'état d'incertitude concernant les séismes de référence dans les zones de subduction faisaient cependant planer des doutes sur ces évaluations. Pendant plusieurs années, TEPCO plaida qu'en l'absence de méthode précise de prise en compte de l'incertitude, il n'existait pas de base pour des mesures préventives supplémentaires. En 2009, la NISA demanda à l'entreprise de rassembler des informations au sujet du séisme de Jogan en vue d'une réévaluation de la protection des sites de Fukushima contre les tsunamis (Gouvernment du Japon, 2011a, chapitre III, p. 31). Ce n'est que le 7 mars 2011, au cours d'une réunion bilatérale, que TEPCO exposa finalement à l'Agence le résultat de nouvelles simulations des conséquences d'un séisme majeur au large de Fukushima. Celles-ci faisaient état d'un tsunami de plus de dix mètres (Gouvernment du Japon, 2011b, chapitre II, pp. 69-70).

## 3. Le double enseignement de Fukushima

La démarche de défense en profondeur, qui a été exposée en détail dans la deuxième section du rapport, constitue le socle de la sûreté nucléaire dans le monde entier. Son principe est d'organiser en différents niveaux les dispositifs (structures, systèmes et procédures) nécessaires au maintien des fonctions de sûreté d'une centrale. S'agissant de l'approvisionnement en électricité, à titre d'exemple, une succession de sources a été prévue pour faire face à toutes les situations de défaillance envisagées. Chaque réacteur de Fukushima Dai-Ichi disposait ainsi, comme nous l'avons vu, d'alimentations extérieures normale et de secours, de deux groupes électrogènes au diesel et d'un ensemble de turbines et de batteries mobilisées lors de l'îlotage(21). Ces sources étaient redondantes : chacune devait en principe permettre de maintenir les fonctions de sûreté du réacteur pendant un temps suffisant. Ces équipements constituaient, sur la question particulière de l'alimentation électrique, les quatre premiers niveaux de la défense en profondeur(22).

(21) Séparation d'une tranche des réseaux électriques extérieurs, qui permet de consacrer l'énergie produite à l'alimentation de ses propres systèmes auxiliaires.

(22) Rappelons que le cinquième niveau de la défense en profondeur est celui de la gestion de crise en dehors du site.

Les événements qui ne sont pas pris en compte dans la défense en profondeur, et pour lesquels une centrale n'est donc pas dimensionnée, relèvent d'un risque dit résiduel. C'est le cas, par excellence, d'agressions extérieures d'une telle intensité qu'elles conduiraient à la perte de systèmes engagés dans les différents niveaux de la défense en profondeur, provoquant ainsi une défaillance de cause commune. Le séisme et le tsunami du 11 mars 2011 appartenaient à cette catégorie d'« événements hors-dimensionnement ». Ceci est évident pour le tsunami, puisque les hauteurs d'eau prises comme référence sur le site de Fukushima Dai-Ichi furent dépassées de près de neuf mètres, mais aussi pour le séisme, puisque l'accélération au sol enregistrée dépassa les spécifications maximales des réacteurs 2, 3 et 5[23].

L'une des tâches essentielles des acteurs de la sûreté est de s'assurer qu'en tenant compte des incertitudes qui entrent en jeu dans son appréciation, le risque résiduel reste suffisamment faible. Les évaluations probabilistes présentées par l'exploitant TEPCO et validées par les autorités japonaises avant la catastrophe de Fukushima contiennent les hypothèses suivantes relatives au risque résiduel[24] :

- une probabilité annuelle de dépassement des valeurs d'accélération au sol retenues pour le dimensionnement des installations comprise entre $10^{-6}$ et $10^{-4}$ (l'éventualité d'un débordement des protections anti-tsunami n'était pas envisagée de façon officielle) ;
- une probabilité annuelle de fusion du cœur avec défaillance de l'enceinte de confinement de $10^{-6}$ par réacteur ;
- l'indépendance des différentes tranches du point de vue de la sûreté (supposée implicitement, puisqu'il n'existait aucune disposition relative à la possibilité d'accidents simultanés).

Une estimation de la probabilité *a priori* de l'accident du 11 mars à partir de ces éléments conduit à une valeur inférieure à $10^{-18}$ d'occurrence par an[25], dont une fraction seulement serait attribuable à une agression externe par un séisme ou un tsunami. Il s'agissait donc d'une impossibilité virtuelle, que nombre d'éléments rappelés dans la partie précédente tendaient pourtant à démentir. TEPCO et les autorités japonaises ont commis une erreur fondamentale dans l'évaluation du risque résiduel à Fukushima Dai-Ichi, et plus précisément dans la prise en compte des risques liés aux agressions extérieures.

Cette erreur peut être interprétée de deux façons. Selon la première, au vu des données scientifiques et historiques disponibles, la centrale aurait dû être conçue pour faire face à un séisme et un tsunami de très grande ampleur[26].

(23) La plus forte accélération fut mesurée dans la tranche 2, à 0,56 g.

(24) Voir Gouvernment du Japon (2011a), partie III, p. 29.

(25) $10^{-18}$ correspondrait à la probabilité annuelle de trois accidents indépendants avec rejets massifs dans les unités 1, 2 et 3, qu'il faudrait encore cumuler aux défaillances observées dans les tranches 4, 5 et 6.

(26) Certaines déclarations de commissaires de la Nuclear Regulatory Commission américaine au cours d'une réunion publique portant sur les enseignements de la catastrophe illustrent cette position (NRC, 2011b, pp. 45-6).

À l'appui de ce point de vue, il ne fait pas de doute que si les responsables japonais de la sûreté avaient adopté une perspective historique moins étroite, ils auraient été amenés à tenir compte de la possibilité d'occurrence de méga-tsunamis dans cette partie de la côte japonaise. Cette conclusion ne remet donc pas en question la méthodologie générale d'évaluation de la sûreté nucléaire, mais plutôt les hypothèses sur lesquelles cette évaluation était fondée à Fukushima. Elle ne rend cependant pas compte du caractère incertain de ces hypothèses, qui est une donnée fondamentale du problème tel que nous l'avons décrit. Une seconde interprétation, centrée sur les modalités de prise en compte de l'incertitude, semble donc mieux refléter la situation des autorités japonaises avant l'accident, en même temps qu'elle se révèle plus riche en enseignements de portée générale. Nous la développons ici en mettant en avant deux aspects particuliers de la catastrophe : l'attitude des responsables de la sûreté japonais, qui a été à l'exact opposé d'une démarche de précaution ; et la totale vulnérabilité de la centrale à un événement qui, bien que classé hors du dimensionnement, faisait l'objet de certaines indications incitant à la prudence.

Alors que le choix du site de Fukushima pour l'implantation d'une centrale nucléaire semblait judicieux du point de vue de la sismologie du début des années soixante-dix, il en était tout autrement après trois décennies d'évolution rapide des connaissances et des représentations scientifiques. L'attitude de la sismologie officielle japonaise, qui s'est trouvée à contre-courant de cette évolution, s'apparente à un pari scientifique. Mais l'attention se porte surtout sur l'absence de prise en compte du caractère très incertain de la science officielle par les décideurs publics. Ce choix est d'autant plus surprenant qu'au cours des années récentes, plusieurs événements sont venus rappeler l'ampleur des incertitudes dans ce domaine, notamment les tremblements de terre de Hanshin-Awaji en 1995 et de Niigataken Chetsu-Oki en 2007. Ces séismes n'étaient certes pas du type de celui de Tohuku. Il semble néanmoins qu'ils auraient dû provoquer une remise en question profonde de la démarche de protection des centrales nucléaires contre les risques d'origine sismique. C'est, dans un premier temps au moins, le contraire qui s'est produit, puisque la réaction au désastre de Kobe et la réforme réglementaire de 2006 ont renforcé la dépendance de la sûreté nucléaire japonaise à l'égard des modèles prédictifs et des estimations probabilistes. Les interrogations de la NISA au sujet du tsunami de Jogan indiquent qu'un début de prise en compte de l'incertitude affectant ces estimations s'était fait jour ces dernières années, mais elle fut trop tardive et trop hésitante. La position des officiels japonais à l'égard des risques sismiques avant la catastrophe constitue donc un cas extrême d'alignement de décideurs publics sur une position scientifique controversée. En favorisant, entre les différentes thèses scientifiques en présence, celle qui minimisait le risque, ceux-ci ont appliqué en quelque sorte un principe de l'anti-précaution.

Les centrales japonaises font partie des installations nucléaires les plus sûres au monde, au moins en matière de robustesse des structures. Comme

nous l'avons vu, les risques sismiques y font l'objet de dispositions particulièrement contraignantes : les réacteurs doivent être construits sur un sous-sol rocheux, en partie enterrés, et équipés de sismographes reliés à leurs systèmes d'arrêt d'urgence ; ils doivent en outre respecter des normes sismiques parmi les plus restrictives qui soient. L'identification des aléas et l'estimation de leurs probabilités de survenue sont en principe propres à chaque site. Cependant, les conséquences des agressions ne sont analysées de façon systématique que pour les événements de dimensionnement. Dans le cadre des démonstrations de sûreté, l'exclusion des événements plus graves au motif de leur faible *probabilité* dispense d'en explorer les *conséquences* pour l'ensemble du site (et même pour un réacteur considéré isolément). De ce fait, les responsables de sûreté du site comme les autorités publiques n'ont pas d'idée précise de l'ampleur des marges disponibles et des risques encourus dans un tel cas de figure. Lorsque des dispositions sont prises à l'occasion de modifications de sûreté marginales, elles ne donnent pas non plus lieu à un examen d'ensemble approfondi. Ceci s'est vérifié à Fukushima, où les modifications engagées pour renforcer la protection du site contre les risques d'inondation, notamment la surélévation de trois groupes électrogènes, se sont avérées inefficaces dans les circonstances effectives d'une inondation. C'est ainsi que le tremblement de terre et le tsunami de Tohuku ont mis en défaut l'indépendance des lignes de la défense en profondeur des réacteurs de Fukushima Dai-Ichi, formant une cause commune qui a tout droit conduit à une triple fusion de cœur.

Ces deux observations pointent vers des choix méthodologiques partagés par la plupart des autorités de sûreté nucléaire dans le monde : d'une part, il n'existe pas de démarche systématique de reconnaissance et de prise en compte des limitations et des incertitudes qui affectent inévitablement les évaluations d'aléas intégrées aux analyses de sûreté ; d'autre part, au-delà des valeurs de dimensionnement, les aléas ne sont pas étudiés de façon approfondie sous l'angle de leurs conséquences possibles, de sorte que les dispositifs de sûreté peuvent comporter des modes d'échec non identifiés dès lors que ces valeurs sont dépassées (« effet falaise »). En mettant en lumière ces deux faiblesses, l'accident de Fukushima a conduit à une prise de conscience qui s'est traduite, en Europe, par l'adoption des « *stress tests* » (qui ont pris en France le nom d'évaluations complémentaires de sûreté). Les autorités de sûreté européennes ont envisagé par là la survenue d'aléas plus sévères que ceux retenus pour le dimensionnement des installations, et commencé à formuler des exigences de robustesse des centrales face à de telles agressions. Comme l'a expliqué le rapport dans sa section 4, cette avancée s'est toutefois limitée aux seuls aléas naturels et n'a pas été, à ce jour, accompagnée d'une véritable réforme méthodologique.

## Références bibliographiques


AIEA (1979) : *Earthquakes and Associated Topics in Relation to Nuclear Power Plant Siting*, Safety guide 50-SG-S1, Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne.

AIEA (2011) : *IAEA International Fact-Finding Expert Mission of the Fukushima Dai-Ichi NPP Accident Following the Great East Japan Earthquake and Tsunami*, Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne.

Geller R.J. (2011) : « Shake-Up Time for Japanese Seismology », *Nature*, n° 472, pp. 407-9.

Gouvernement du Japon (2011a) : *Report of the Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety. The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations*, Secrétariat du Cabinet du Premier ministre du Japon, Tokyo.

Gouvernement du Japon (2011b) : *Additional Report of the Japanese Government to the IAEA. The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations*, Nuclear Emergency Response Headquarters, Government of Japan, Tokyo.

Gouvernement du Japon (2012) : *Road to Recovery*, Brochure d'information, Secrétariat du cabinet du Premier ministre du Japon, Tokyo, mars.

Henry P. (2011) : « Le mégaséisme de subduction du Japon », *Pour la Science*, n° 403, pp. 34-9.

HERP (1999) : *The Promotion of Earthquake Research. Basic Comprehensive Policy for the Promotion of Earthquake Observation, Measurement, Surveys and Research*, Headquarters for Earthquake Research Promotion, Tokyo.

INPO (2011) : *Special Report on the Nuclear Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station*, Institute of Nuclear Power Operations, Atlanta.

Investigation Committee (2011) : *Interim Report. Investigation Committee on the Accident at Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company*, Tokyo.

IRSN (2012) : *Fukushima, un an après. Premières analyses de l'accident et de ses conséquences*, Rapport IRSN/DG/2012-001, Institut de radioprotection et de sûreté nucléaires, Fontenay aux Roses.

Ishibashi, K. (2007) : « Why Worry? Japan's Nuclear Plants at Grave Risk From Quake Damage », *Asahi Shinbun* et *International Herald Tribune*, 11 août.

JSCE (2002), *Tsunami Assessment Method for Nuclear Power Plants in Japa*, Tsunami Evaluation Subcommittee, Nuclear Civil Engineering Committee, Japan Society of Civil Engineers, Tokyo.

Le Pichon X. (2011) : « Erreurs de prévision et de gouvernance dans la gestion au Japon de la mitigation des séismes mises en lumière par le séisme de Tohoku du 11 mars 2011 » in *Mégaséismes et mégatsunamis*, Académie des Sciences, Rapport du sous-groupe sismique, Paris.

Le Pichon X., S. Mazzotti, P. Henry et M. Hashimoto (1998) : « Deformation of the Japanese Islands and Seismic Coupling: An Interpretation Based on GSI Permanent GPS Observations », *Geophysical Journal International*, n° 134, pp. 501-4.

Minoura K., F. Imamura, D. Sugawara, Y. Kono et T. Iwashita (2001) : « The 869 Jogan Tsunami Deposit and Recurrence Interval of Large-Scale Tsunami on the Pacific Coat of Northeast Japan », *Journal of Natural Disaster Science*, vol. 23, n° 2, pp. 83-8.

NAIIC (2012) : *The Official Report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission*, The National Diet of Japan, Tokyo.

NRC (2011a) : *Recommendations for Enhancing Reactor Safety in the 21st Century. The Near-Term Task Force Review of Insights from the Fukushima Dai-Ichi Accident*, Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.

NRC (2011b) : *Briefing on the Task Force Review of NRC Processes and Regulations Following the Events, Japan*, Retranscription des discussions lors de la réunion publique du 19 juillet 2011, Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.

NSC (2006) : *Regulatory Guide for Reviewing Seismic Design of Nuclear Power Reactor Facilities*, Nuclear Safety Commission, Tokyo.

NSC (2009) : *2007-2008 Nuclear Safety White Paper*, Nuclear Safety Commission, Tokyo.

OCDE (2009) : *OECD Reviews of Risk Management Policies: Japan. Large-Scale Floods and Earthquakes*, Organisation pour la coopération et le développement économiques, Paris.

Stevenson J.D. (2003) : « Historical Development of the Seismic Requirements for Construction of Nuclear Power Plants in the US and Worldwide and their Current Impact on Cost and Safety », *Transactions of the 17th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 17)*, Prague.

Stohl A., P. Seibert, G. Wotawa, D. Arnold, J.F. Burkhart, S. Eckhardt, C. Tapia, A. Vargas et T.J. Yusunari (2011) : « Xenon-133 and Caesium-17 Releases into the Atmosphere from the Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant: Determination of the Source Term, Atmospheric Dispersion, and Deposition », *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, *n*° 11, pp. 28319-94.

TEPCO (2011) : *Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit no 1. Report on Earthquake Response Analysis of the Reactor Building, Important Equipment and Piping System for Seismic Safety using Recorded Seismic Data of the Tohoku-Chihou-Taiheiyo-Oki Earthquake in the Year 2011*, Tokyo Electric Power Company, Tokyo.

Complément H

# Les coûts de la filière électronucléaire
## Synthèse du rapport de la Cour des comptes

**Michèle Pappalardo**
*Cour des comptes*

## Introduction

En mai 2011, le Premier ministre a demandé à la Cour des comptes, au titre de sa mission d'assistance au Gouvernement, d'expertiser « les coûts de la filière nucléaire », en précisant qu'il souhaitait « pouvoir disposer de ce rapport avant le 31 janvier 2012 ». En réponse à cette demande, le rapport de la Cour rassemble l'essentiel des données factuelles disponibles actuellement sur les éléments qui constituent les coûts, passés, présents et futurs, de la production d'électricité nucléaire en France, sans prise de position ni sur le niveau souhaitable de cette production, ni sur les modalités de son financement, ni sur sa compétitivité avec les autres formes de production d'électricité. Il peut être considéré comme une « base de données », mise à disposition de tous les citoyens dans un souci de transparence et de pédagogie.

La Cour a exclu de son champ d'analyse les dépenses nucléaires militaires et les coûts de transport et de distribution de l'électricité, pour se limiter au coût de production de l'électricité nucléaire, qui ne représente qu'environ 40 % du prix payé par les consommateurs

Pour mener à bien cette étude, la Cour a organisé une large consultation : constitution d'un comité d'experts ayant vocation à éclairer ses travaux, auditions des responsables de la filière mais aussi de responsables d'organisations syndicales et d'ONG de protection de l'environnement, consultation écrite de nos ambassades dans les principaux pays « nucléaires ».

## 1. Des dépenses de production qui s'étalent sur une très longue période

La production d'électricité nucléaire est une activité très capitalistique dont les coûts s'étalent sur très longue période. Pour calculer aujourd'hui le coût total de production du parc actuel, du point de vue de l'exploitant, il faut donc additionner les coûts passés, relatifs aux investissements, les coûts présents, c'est-à-dire les charges d'exploitation, et les coûts futurs, qui concernent à la fois l'investissement (le démantèlement des installations) ou les charges d'exploitation (la gestion des combustibles usés et des déchets).

D'une manière générale, on considère que les coûts d'AREVA (investissements et charges d'exploitation, y compris les coûts futurs) sont intégrés dans les coûts du combustible payés par EDF, pour la partie de l'activité d'AREVA qui est concernée par la production d'électricité nucléaire française. Par conséquent, pour éviter de comptabiliser deux fois les mêmes coûts, les calculs sont faits uniquement à partir des comptes d'EDF.

### 1.1. Des dépenses passées relativement bien identifiées

Le montant total de construction des installations nécessaires à la production d'électricité nucléaire s'est élevé à 121 milliards d'euros (hors construction de Superphénix), dont 96 milliards d'euros pour le coût de construction des 58 réacteurs existants, *stricto sensu*. Ce montant comprend un coût « *overnight* » de 83 milliards d'euros(*) correspondant à des investissements réalisés essentiellement au cours des années 1973 à 2002, complété par les intérêts intercalaires, dus au fait que la construction des centrales dure plusieurs années, évalués par la Cour à 13 milliards d'euros.

Ces 58 réacteurs représentent une puissance installée de 62 510 MW.

### 1.2. Des charges courantes d'exploitation bien cernées

Ces charges d'exploitation annuelles d'EDF se sont élevées à 8,9 milliards d'euros pour une production de 407,9 TWh en 2010. Ces charges sont bien identifiées et leur chiffrage ne pose pas de problème majeur.

Les charges d'exploitation représentent un coût de 22 euros/MWh, en 2010. Elles ont progressé de 11 % entre 2008 et 2010 (en euros courants), essentiellement du fait de l'augmentation des programmes de maintenance courante et des impôts et taxes.

(*) Le coût *overnight* est la somme du coût de construction initial (72,9 milliards d'euros), des frais d'ingénierie (6,9 milliards) et des charges de pré-exploitation (3,4 milliards).

**1. Charges d'exploitation**

| | Charges d'exploitation (en milliards d'euros courants) | Évolution 2008-2010 (en %) |
|---|---|---|
| Combustible nucléaire | 2 135 | + 5 |
| Coût du personnel | 2 676 | + 5 |
| Consommations externes | 2 095 | + 19 |
| Impôt et taxes | 1 176 | + 15 |
| Fonctions centrales | 872 | + 30 |
| Total | 8 954 | + 11 |

*Source* : Cour des comptes.

## 1.3. Des charges futures incertaines par nature

### *1.3.1. Des dépenses de démantèlement*

Les dépenses de démantèlement, c'est-à-dire les dépenses de « fin de vie » des centrales, sont estimées aujourd'hui à 18,4 milliards d'euros, en charges brutes, pour le démantèlement des 58 réacteurs du parc actuel.

Les chiffrages actuels doivent être regardés avec précaution, l'expérience en la matière, tant d'EDF (centrales de 1re génération) que du CEA ou d'AREVA, ayant montré que les devis ont très généralement tendance à augmenter quand les opérations se précisent, d'autant plus que les comparaisons internationales donnent des résultats très généralement supérieurs aux estimations d'EDF. Toutefois, la grande dispersion des résultats de ces comparaisons internationales montre l'incertitude qui règne dans ce domaine.

### *1.3.2. Coût de gestion à long terme des déchets radioactifs*

Les charges brutes correspondant à la gestion à long terme des déchets issus de la production électronucléaire s'élèvent à 23 milliards d'euros pour EDF actuellement mais ne sont pas stabilisées. Pour la part correspondant à la gestion des déchets à haute ou moyenne activité à vie longue, elles sont calculées depuis 2005 sur la base d'un devis (16,5 milliards) du projet de centre de stockage géologique élaboré par l'ANDRA mais que celle-ci a revu en 2009, de manière approfondie. Ce nouveau chiffrage (36 milliards) représente un quasi-doublement du devis initial ; il est contesté par les producteurs. L'estimation officielle doit faire l'objet d'un arrêté ministériel avant 2015, sur la base duquel EDF, AREVA et le CEA seront éventuellement conduits à revoir leurs provisions.

## 1.4. Un coût de production global qui va augmenter

### *1.4.1. Coût du capital*

La production d'électricité nucléaire est une industrie très capitalistique à cycle long pour laquelle le coût du capital est une variable qui a un impact très significatif sur le calcul du coût global.

Le calcul du coût du capital et de sa part dans le coût global de production fait l'objet d'approches diverses, plusieurs paramètres pouvant varier en fonction de ce que l'on veut mesurer, et donc du montant du capital dont on cherche à calculer le coût, voire de la répartition, dans le temps, de ce coût (coût annuel constant ou dégressif).

Pour calculer le coût moyen de production, pour l'exploitant, du parc actuel sur l'ensemble de sa durée de fonctionnement, la Cour a utilisé la méthode du *coût courant économique (CCE)*. Le coût de rémunération et de reconstitution du capital investi y est mesuré à travers un *loyer économique* à échéances annuelles constantes sur toute la durée de fonctionnement du parc. Ce loyer est calculé de façon à permettre à un investisseur d'être remboursé et rémunéré de son investissement à la hauteur de sa valeur réévaluée à la fin de sa durée de vie.

### *1.4.2. Coût global*

Le coût courant économique prend en compte les divers types de coûts (passés, présents, futurs) identifiés chez les exploitants, les charges futures de démantèlement, de gestion des combustibles usés et de gestion à long terme des déchets étant actualisées avec un taux nominal d'actualisation de 5 % (2,94 % en taux réel, sans inflation).

Les calculs faits sur la base d'une durée de fonctionnement des 58 réacteurs du parc actuel de 40 ans, avec le montant d'investissements de maintenance réalisés en 2010, donnent un coût courant économique de 49,50 euros/MWh avec un niveau de production de 407,9 TWh, c'est-à-dire celui de 2010.

### *1.4.3. Évolutions des charges futures provisionnées*

Les charges futures de démantèlement et de gestion à long terme des déchets, qui ne donneront lieu à des dépenses que dans plusieurs dizaines, voire centaines d'années pour la surveillance des sites de stockage des déchets, sont calculées en faisant des hypothèses et avec des incertitudes souvent notables. Il est donc important de mesurer la sensibilité du coût de production global aux évolutions des éléments de coût les plus incertains.

#### 1.4.3.1. Sensibilité à une variation du taux d'actualisation

Compte tenu du fait que les dates de décaissement des charges brutes sont éloignées dans le temps, elles doivent être actualisées pour être intégrées dans les comptes d'aujourd'hui. Ce calcul est fait en leur appliquant un taux d'actualisation de 5 %, intégrant un taux d'inflation de 2 % (taux réel de 2,94 %) qui réduit globalement leur montant dans les calculs de 48 %, faisant passer le montant de l'ensemble des charges brutes futures pour l'ensemble des opérateurs de 79 à 38 milliards de provisions. Ce taux d'actualisation est sensiblement équivalent à celui utilisé à l'étranger.

**2. Charges brutes/provisions**

| | EDF | AREVA | CEA | Total |
|---|---|---|---|---|
| Charges brutes (en milliards d'euros) | 62,1 | 10,5 | 6,8 | 79,4 |
| Provisions (en milliards d'euros) | 28,3 | 5,6 | 4,5 | 38,4 |
| Provisions/charges brutes (en %) | 46 | 54 | 66 | 48 |

*Source* : Cour des comptes.

Une diminution de ce taux de 1 %, le faisant passer de 5 à 4 %, provoquerait une augmentation des provisions et le coût annuel de production de l'électricité nucléaire, calculé avec la méthode du coût courant économique, croîtrait de 162 millions d'euros/an, soit + 0,8 %.

#### 1.4.3.2. Sensibilité à une variation des dépenses de fin de cycle

Concernant les dépenses de fin de cycle, si les provisions pour gestion des combustibles usés semblent relativement certaines, celles pour gestion des déchets devraient être rapidement revues, le nouveau devis de l'ANDRA étant un peu plus du double de celui qui sert aujourd'hui de base aux calculs des provisions.

Sur la base d'une simulation simplifiée, si l'on retient la dernière hypothèse de devis de l'ANDRA, le coût annuel de production de l'électricité nucléaire augmenterait de 200 millions d'euros, soit une augmentation de 1 % en coût par MWh

#### 1.4.3.3. Sensibilité à une variation du coût du démantèlement

Les simulations simplifiées, réalisées à taux d'actualisation inchangé (5 %), montrent que si le devis de démantèlement doublait, le coût annuel de production augmenterait d'environ 1 milliard, ce qui ne représenterait toutefois qu'une augmentation du coût de production du MWh de 5 %.

Ces tests de sensibilité à la variation de divers paramètres relatifs aux charges futures montrent que, compte tenu de l'horizon d'une durée de fonctionnement du parc de 40 ans sur laquelle ils ont été calculés, ils modifient le coût annuel actuel de production de l'électricité nucléaire de façon certes non négligeable mais relativement limitée.

### *1.4.4. Investissements de maintenance*

Les investissements de maintenance visent à la fois à assurer le bon fonctionnement des réacteurs en termes de production, à en améliorer progressivement la sécurité et la sûreté et à permettre une augmentation éventuelle de la durée de fonctionnement des centrales.

Le programme d'investissements de maintenance d'EDF, pour les années 2011-2025, préparé en 2010, s'élevait à 50 milliards d'euros, soit

une moyenne annuelle d'environ 3,3 milliards, ce qui correspond presque au double des investissements réalisés en 2010 (1,7 milliard), eux-mêmes déjà en hausse par rapport aux années antérieures. Les investissements à réaliser pour satisfaire aux demandes de l'ASN dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté après Fukushima sont aujourd'hui estimés à une dizaine de milliards, dont la moitié serait déjà prévue dans le programme initial de 50 milliards. Le montant des investissements de maintenance annuel moyen devrait donc être de 3,7 milliards pour un programme d'environ 55 milliards, à réaliser entre 2011 et 2025.

L'impact de cette évolution des coûts d'investissements sur le coût de production au MWh est d'environ 10 %, faisant passer le coût courant économique de 49,50 euros/MWh (avec le montant des investissements de maintenance de 2010) à près de 55 euros/MWh.

Ainsi, si l'impact de l'évolution des charges futures liées au démantèlement et à la gestion des déchets est limité, celui de l'évolution des investissements de maintenance est nettement plus sensible.

## 2. Les dépenses financées sur crédits publics

Si l'on cherche à calculer les coûts « pour la société » de la production d'électricité nucléaire, le coût pour l'exploitant doit être complété par les dépenses financées sur crédits publics, qui ne sont pas, par construction, dans les comptes des producteurs. Les deux grands types de dépenses financées sur crédits publics concernent la recherche et les actions en faveur de la sécurité, la sûreté et la transparence de l'information. Les chiffrages réalisés par la Cour sur ces sujets permettent de faire cinq constats.

### 2.1. Des dépenses récurrentes limitées sur crédits publics

En 2010, les dépenses financées par des crédits publics se sont élevées à un montant estimé à 644 millions d'euros (414 millions de recherche publique et 230 millions pour la sécurité/sûreté/transparence). Limitant son analyse à la détermination de ces coûts, la Cour ne porte aucun jugement sur le caractère suffisant ni sur l'efficacité de l'utilisation de ces crédits.

Ces dépenses ne représentent donc que 5 à 6 % des charges d'exploitation annuelles (y compris les provisions associées sur les combustibles usés et les déchets).

Leur montant est du même ordre de grandeur que celui de la taxe sur les installations nucléaires de base (INB), fiscalité spécifique payée par les exploitants (580 millions d'euros en 2010) et dont on peut considérer qu'elle est destinée à couvrir les dépenses publiques qui lui sont liées, même si, à l'origine, la taxe sur les INB et les redevances qui l'ont précédée ne visaient que le financement des dépenses de sécurité et de sûreté.

### 2.2. Un fort investissement en recherche largement financé sur crédits publics

L'étude de l'évolution de la recherche depuis le milieu des années cinquante jusqu'à aujourd'hui, réalisée par la Cour à l'occasion de ce rapport, montre qu'on peut estimer à 55 milliards d'euros les dépenses totales de recherche faites dans le domaine de l'électricité nucléaire, soit environ 1 milliard par an.

Ces dépenses ont été financées à hauteur de 38 milliards d'euros, (690 millions par an en moyenne), par des crédits publics, ce qui représente une proportion de 70 %, sensiblement supérieure à celle constatée en 2010 et, plus généralement, à celle de ces dix dernières années qui n'était que de 40 % environ.

En revanche, il n'a pas été possible de faire un chiffrage des dépenses passées de sécurité/sûreté/transparence, mais il est probable qu'à l'inverse des dépenses de recherche financées sur crédits publics, ces dépenses aient tendance à progresser légèrement dans le temps, avec la constitution et le renforcement progressif des organismes qui représentent l'essentiel de ces coûts : l'ASN et l'IRSN.

Même en l'absence de ces informations, on peut considérer que les montants relativement proches en 2010 du produit de la taxe sur les INB et des dépenses financées sur crédits publics constituent une situation nouvelle, consécutive à deux mouvements de sens contraire : la diminution progressive des dépenses de recherche sur crédits publics et l'augmentation très sensible du produit de la taxe, qui a été multiplié par 4,6 entre 2000 et 2010 (en euros courants).

### 2.3. L'État devra financer les provisions du CEA

Les charges futures du CEA s'élèvent, fin 2010, à 6,8 milliards d'euros, soit 4,5 milliards de provisions après actualisation, dont 2,9 milliards pour démantèlement, 1,2 milliard pour la gestion à long terme des déchets et 0,3 milliard pour la gestion des combustibles usés.

Ces provisions sont réputées couvertes à hauteur de 3,1 milliards d'euros par des actifs dédiés essentiellement constitués de créances sur l'État ou de titres d'AREVA dont il est prévu que le CEA puisse les vendre à l'État au fur et à mesure de ses besoins.

De manière directe ou indirecte, l'État est donc le financeur de ces charges futures dont le montant, calculé avec des méthodes sérieuses, reste toutefois incertain comme l'ont montré les réévaluations souvent très significatives des devis de ces charges futures depuis une dizaine d'années. Il devra permettre le financement des décaissements, à l'aide de crédits budgétaires, au moment où ils devront avoir lieu.

### 2.4. Le poids du programme de 4e génération en dépenses de recherche

Le programme « nucléaire du futur » inclus dans les investissements d'avenir permet de financer, à hauteur de 650 millions d'euros (entre 2011 et 2017), l'avant-projet détaillé (APD) d'ASTRID, démonstrateur visant à développer des réacteurs de 4e génération à neutrons rapides refroidis au sodium. Si la France continue dans cette voie sur la base des résultats de l'APD, il faudra donc envisager d'autres formes de financements, probablement en grande partie publics, pour des montants aujourd'hui inconnus, tout d'abord pour financer la construction d'ASTRID, ensuite pour financer d'autres installations car ce démonstrateur sera encore loin d'avoir atteint la maturité industrielle.

### 2.5. Le risque « responsabilité civile » en cas d'accident nucléaire

En matière d'assurance, la filière nucléaire est dans une situation très particulière : la réalisation du risque est très peu probable mais, en cas de sinistre majeur, les conséquences peuvent être catastrophiques ; toutefois la probabilité de survenance comme la gravité des conséquences sont difficiles à estimer et l'objet de nombreux débats. Néanmoins, il est certain qu'en cas d'accident notable, les plafonds de garantie à la charge des exploitants en matière de responsabilité civile, fixés par des conventions internationales, seraient rapidement atteints et probablement dépassés.

Aussi, dans le dispositif actuel en matière de responsabilité civile nucléaire, l'État pourrait être conduit, en cas d'accident nucléaire dont la probabilité est, certes, très faible, à indemniser les dommages au-delà des plafonds de responsabilité prévus dans les textes actuellement applicables, ainsi qu'à supporter les impacts économiques non couverts par les mécanismes d'indemnisation. Cette garantie est apportée actuellement de manière gratuite aux opérateurs. La Cour a montré que le coût de cette garantie est très faible, si on le rapporte à la totalité des coûts de la production électronucléaire. Mais, en cas d'accident grave, les coûts peuvent être massifs et peser très fortement sur les moyens de l'État, sachant qu'en tout état de cause, l'État reste *in fine* le garant de la prise en charge du coût des réparations d'un dommage nucléaire et de ses conséquences, dans leur ensemble.

Sur ce point, la Cour a donc recommandé que la France fasse ses meilleurs efforts pour que les conventions de Paris et de Bruxelles, signées en 2004, entrent rapidement en vigueur, car elles augmentent sensiblement le plafond de responsabilité des opérateurs, même s'il reste encore limité.

## 3. Les questions en suspens

Au-delà des incertitudes identifiées dans les développements précédents et dont la Cour a essayé de mesurer la sensibilité par rapport aux coûts de production de l'électricité nucléaire, plusieurs questions méritent une attention particulière parce qu'elles pourraient avoir des conséquences significatives.

### 3.1. Les externalités positives et négatives des différentes formes d'énergie

L'impact de la production d'électricité nucléaire sur la santé, l'environnement, la balance des paiements, l'économie, etc. est en règle générale difficile, voire impossible, à mesurer dans l'état des connaissances actuelles. Ces externalités sont plutôt à prendre en compte dans les comparaisons entre différentes formes d'énergie.

La Cour recommande que soient encouragés et soutenus les travaux et études consacrés à ces sujets, tant sur l'énergie nucléaire que sur les autres énergies, de nombreux impacts ne pouvant pas être *monétarisés*, en tout cas actuellement, mais sont utiles pour les comparaisons entre les différentes formes d'énergie.

### 3.2. Un chiffrage des évaluations complémentaires de sûreté à compléter et affiner

À la suite de l'accident de Fukushima, l'ASN a lancé, à la demande du gouvernement, un exercice approfondi de réexamen des conditions de sécurité et de sûreté des réacteurs du parc actuel. Son rapport et son avis portant sur les « installations prioritaires » ont été rendus publics le 3 janvier 2012 sans déjà permettre un chiffrage complet et précis de toutes les conséquences qui seront tirées de cet accident, sachant que les situations d'EDF, d'AREVA et du CEA ne sont pas similaires.

Les éléments concernant EDF sont les plus nombreux. Les dispositions pour « augmenter la robustesse des installations face à des situations extrêmes » étaient estimées par EDF, à la fin 2011, à une dizaine de milliards d'euros à réaliser en quelques années, mais certains investissements sont déjà en partie inclus dans les programmes d'investissements provisionnels d'EDF. Il faudra aussi tenir compte du coût de ces mesures en termes de personnels, notamment pour la mise en place de la « force d'action rapide », ce qui devrait au total, d'après EDF, représenter un coût important de l'ordre de 300 millions d'euros par an. Quant aux facteurs sociaux, organisationnels et humains, leurs coûts sont encore plus difficiles à déterminer aujourd'hui mais ils auront aussi des conséquences sur les effectifs et les charges salariales qui en découlent ainsi que sur l'organisation des travaux en sous-traitance.

Les investissements d'AREVA prévus dans son plan stratégique à cinq ans s'élèvent à 2 milliards d'euros pour la période. Au moment de la rédaction du rapport, l'entreprise considérait que les investissements liés aux évaluations complémentaires de sûreté devraient représenter quelques centaines de millions supplémentaires pour la période. Mais la Cour n'a aucun moyen de valider ces chiffres, notamment du fait que les prescriptions de l'ASN sont encore très peu précises.

Le CEA est dans une situation relativement proche de celle d'AREVA, compte tenu de la diversité de ses installations, mais encore un peu plus

singulière du fait que, d'une part, la plupart de ses installations seront examinées en 2012 et que, d'autre part, trois sur cinq des installations qui ont été examinées dans le cadre de cette première série d'évaluations sont fermées et en cours de démantèlement (Phénix, l'atelier Plutonium et Osiris). Il faut donc, dans chaque cas, préciser les investissements qui ont un sens, compte tenu de la diminution des risques au fur et à mesure des progrès des opérations de démantèlement. Le CEA estime aujourd'hui le coût possible des conséquences des évaluations complémentaires de sûreté avec une fourchette relativement large, entre 50 et 500 millions d'euros, à réaliser sur trois ou quatre ans.

D'une manière générale, il était donc encore trop tôt, à l'époque de la rédaction du rapport, pour chiffrer et vérifier le montant des investissements et coûts humains qui seront les conséquences de ces premières évaluations complémentaires de sûreté. En outre, comme le dit l'ASN dans son rapport, « le retour d'expérience de l'accident de Fukushima pourra prendre une dizaine d'années. Il est apparu nécessaire d'évaluer sans délai la robustesse des installations vis-à-vis des situations extrêmes », mais ce n'est que la première étape d'un processus d'analyse et de réflexion qui sera long.

### 3.3. La durée de fonctionnement des centrales, une décision stratégique à expliciter

La durée de fonctionnement de chaque centrale fait l'objet d'un examen décennal par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) qui précise les conditions d'une éventuelle autorisation de poursuivre l'exploitation. Actuellement, seuls deux réacteurs des centrales du Triscastin et de Fessenheim ont reçu une autorisation de fonctionnement jusqu'à quarante ans, sous réserve de la réalisation de travaux significatifs pour en améliorer la sécurité.

Toutefois, comptablement, les centrales d'EDF sont amorties sur quarante ans depuis 2003. Or, la durée de vie des centrales a un impact significatif sur le coût de production réel en permettant d'amortir les investissements sur un plus grand nombre d'années. D'autre part, elle repousse dans le temps les dépenses de démantèlement et le besoin d'investissement dans de nouvelles installations de production.

La Cour constate que d'ici une dizaine d'années (fin 2020), 22 réacteurs sur 58 atteindront leur quarantième année de fonctionnement. Par conséquent, dans l'hypothèse d'une durée de vie de quarante ans et d'un maintien de la production électronucléaire à son niveau actuel, il faudrait construire 11 EPR d'ici la fin de 2022, ce qui parait très peu probable, voire impossible, y compris pour des considérations industrielles.

Cela signifie qu'il est fait l'hypothèse soit d'une durée au-delà de quarante ans, comme semble l'indiquer la « programmation pluriannuelle des investissements » (PPI) de production d'électricité pour la période 2009-2012, qui « privilégie un scénario central de prolongation au-delà de qua-

rante ans du parc nucléaire », soit d'une évolution du *mix* énergétique vers d'autres sources d'énergie, sans que ces orientations stratégiques n'aient fait l'objet d'une décision explicite, connue du grand public, alors qu'elles nécessitent des actions de court terme et des investissements importants.

### 3.4. Des investissements importants à prévoir à court/moyen terme

Ainsi, le prolongement de l'autorisation de fonctionnement jusqu'à quarante ans, la prise en compte des conséquences des évaluations de sûreté faites à la suite de Fukushima (rapport de l'ASN) et le maintien du taux de disponibilité des centrales à un niveau acceptable (entre 80 et 85 %) nécessitent un doublement du rythme actuel d'investissement de maintenance, ce qui représente une augmentation d'environ 10 % du coût courant économique de production (CCE).

Par ailleurs, si les centrales actuelles étaient remplacées par des EPR dont le coût de construction (au moins 5 milliards d'euros pour un EPR « de série ») sera très sensiblement supérieur à celui des centrales actuelles, et dans l'hypothèse d'une durée de vie des centrales actuelles de cinquante ans, cela supposerait un investissement de 55 milliards (11 EPR) dans les vingt ans qui viennent.

Quelles que soient les réponses données à ces questions dans l'avenir, la Cour relève qu'à court et moyen terme des dépenses importantes d'investissements sont prévisibles tant en matière de maintenance que de construction de moyens de production de remplacement ; ils viendront s'ajouter aux dépenses d'investissement dans les réseaux de distribution ou dans la recherche, s'il est décidé de poursuivre le programme de développement des réacteurs de 4e génération, qui devraient conduire à des investissements sensiblement supérieurs à ceux faits actuellement dans ce domaine, sans qu'il soit actuellement possible de les chiffrer.

Les conséquences stratégiques et financières de cette situation doivent être analysées de manière à pouvoir en tirer des orientations de la politique énergétique à moyen terme, publiquement connues et utilisables par tous les acteurs du secteur. En effet, compte tenu du délai, en matière de politique énergétique, entre la prise de décision et ses effets, particulièrement long pour le nucléaire mais qui existe aussi pour toutes les autres filières, y compris pour les économies d'énergie, ne pas prendre de décision revient à faire un choix, celui de faire durer le parc actuel au-delà de quarante ans.

### 3.5. Maintenir la transparence et assurer la mise à jour des chiffrages

La complexité du sujet, l'incertitude des données et le grand nombre d'hypothèses sur lesquelles les chiffres du présent rapport ont été calculés nécessitent que ce travail soit régulièrement revu et approfondi, dans le

cadre d'une gouvernance adaptée à la dimension stratégique de la question énergétique et à la grande sensibilité du sujet pour les citoyens.

Aussi la Cour recommande-t-elle que cette enquête soit régulièrement actualisée, en toute transparence et objectivité.

Au demeurant, l'importance des externalités non chiffrables, sauf éventuellement par comparaison avec d'autres solutions, notamment en termes d'impact sur l'environnement, la santé, l'emploi et la balance commerciale, souligne le fait que les coûts ne sont certainement pas les seules variables à prendre en compte dans les décisions en matière de production électronucléaire.

Complément I

# Prolonger la durée de vie du parc nucléaire actuel : une solution raisonnable

## Conclusions du rapport de la Commission « Énergies 2050 »

**Jacques Percebois**

*Université Montpellier I, Commission « Énergies 2050 »*

## 1. Les enjeux

La France a déjà connu plusieurs transitions énergétiques depuis la Seconde Guerre mondiale. Ce fut la transition vers l'hydraulique au début des années cinquante, puis la régression du charbon au profit du pétrole bon marché mais importé au début des années soixante. Ce fut ensuite l'accélération du programme électronucléaire au moment des chocs pétroliers dans les années soixante-dix. Ce fut plus récemment l'ouverture à la concurrence des industries électriques et gazières, suite aux directives européennes de 1996 et 1998. À chaque fois l'État a su prendre les bonnes décisions, même si ce fut parfois dans la douleur : on se souvient des plans sociaux liés à la fermeture des mines de charbon. Toute politique énergétique est un compromis entre plusieurs objectifs : à certaines périodes (substitution du pétrole importé au charbon national) la priorité fut donnée à la baisse du coût d'accès à l'énergie afin de ne pas pénaliser l'industrie française dans la compétition mondiale ; à d'autres (accélération du programme nucléaire suite au choc pétrolier) la priorité fut donnée à la reconquête de l'indépendance énergétique. Une nouvelle période s'ouvre aujourd'hui car des interrogations majeures subsistent partout dans le monde : quelle doit être la place des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz) dont on sait qu'elles sont épuisables et émettent du $CO_2$, même si c'est à des degrés divers selon les sources ? Quelle doit être la place du nucléaire qui, après Fukushima, pose des problèmes d'acceptabilité sociale ? Quel doit être le rôle des énergies renouvelables (éolien, solaire notamment), qui bénéficient souvent de la

sympathie du public, mais qui ont l'inconvénient d'être (encore) coûteuses et intermittentes ? La réponse dépendra largement des pondérations accordées par l'État aux diverses préoccupations : faut-il donner la priorité à la lutte contre le réchauffement climatique, favoriser l'indépendance énergétique, opter pour les formes d'énergie les moins coûteuses pour le consommateur final ?

Une certitude s'impose à nous : la satisfaction des besoins énergétiques futurs ne pourra être assurée que par un « mix » diversifié : nous avons besoin de toutes les énergies, certes suivant des proportions différentes selon les pays, car aucune source d'énergie n'est parée de toutes les vertus et les disponibilités en ressources naturelles sont variables selon les situations. La principale incertitude porte sur ce que seront les technologies du futur. Le temps de l'énergie est un temps long car il y a de nombreuses inerties tout au long de la chaine énergétique (une centrale électrique est faite pour durer entre 30 et 60 ans, voire plus s'il s'agit d'un barrage), mais en même temps le progrès technique peut très rapidement bouleverser nos certitudes : les nouvelles technologies de l'exploration-production des hydrocarbures nous permettent de profiter d'un potentiel important de pétrole et de gaz non conventionnels (« pétrole et gaz de schistes ») et du coup la date fatidique du « *peak oil* » recule ; grâce à eux les États-Unis redeviendraient un pays exportateur d'hydrocarbures ! Les technologies de l'information nous permettront prochainement, grâce aux réseaux intelligents (« *smart grids* »), d'optimiser en temps réel la gestion de nos consommations de gaz et d'électricité. Les progrès attendus dans le stockage de l'électricité (batteries mais aussi hydrogène ou « méthanation ») compenseront en partie l'intermittence des énergies éolienne et solaire, dont les coûts de production devraient d'ailleurs fortement baisser. De nouveaux réacteurs nucléaires, beaucoup plus performants et plus sûrs permettront demain d'utiliser ou de transmuter certains déchets, le plutonium et certains actinides mineurs (projet de réacteur dit de 4e génération, Astrid, dont l'implantation devrait se faire à Marcoule).

Il nous faut donc maintenir un effort soutenu de recherche-développement pour rester dans la course des innovations en compagnie des pays qui, comme la Chine, la Russie ou les États-Unis ont des budgets de recherche très importants, notamment concernant le nucléaire du futur. Les progrès techniques nous permettront aussi d'améliorer l'efficacité au niveau de l'utilisation de chaque forme d'énergie. Deux secteurs doivent particulièrement retenir notre attention, le bâtiment et les transports. Ils représentent à eux deux près des trois quarts de la consommation d'énergie finale en France. Les économies potentielles y sont considérables et cela impose de compter non seulement sur les progrès de la technologie mais aussi sur des comportements plus rationnels des utilisateurs pour réduire les gaspillages. D'autant que les coûts, donc les prix de l'énergie, iront nécessairement en augmentant car les nouvelles technologies sont coûteuses, et il faudra investir à tous les niveaux, pour mettre en valeur des ressources ou améliorer la sécurité des

installations. Il faudra en plus tenir compte des coûts liés à la protection de l'environnement. Il faut que demain les émissions de $CO_2$ soient taxées à leur juste niveau, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui. Économiser l'énergie, c'est protéger l'environnement et c'est aussi une façon de lutter contre la précarité énergétique qui est devenue une grande cause nationale.

Le nucléaire est au cœur des débats sur la transition énergétique et notamment des questions que soulève la sûreté, celle des centrales mais aussi celle liée à la gestion des déchets nucléaires. Cette sûreté a un coût mais c'est aussi le prix à payer pour garantir une certaine indépendance énergétique de la France et une moindre vulnérabilité des choix nationaux.

Le Gouvernement a demandé à la Commission « Énergies 2050 » mise en place en octobre 2011 d'étudier divers scénarios d'évolution du parc nucléaire français à l'horizon 2030-2050. Présidée par Jacques Percebois et Claude Mandil, elle comprenait une cinquantaine de personnes (dont une dizaine de rapporteurs) et elle aura auditionné 80 personnes et organismes venant d'horizons très divers ; elle a remis son rapport au ministre en février 2012 et s'est appuyée pour ses analyses sur les travaux de la Cour des comptes. Son rôle était d'étudier les quatre scénarios retenus dans la « feuille de route » donnée par le ministre : allongement de la durée de vie du parc nucléaire actuel, accélération du passage à Génération III voire IV, sortie partielle du nucléaire, sortie totale du nucléaire. Le débat sur le nucléaire se devait d'être replacé dans le cadre des perspectives énergétiques globales de la France à cet horizon 2030-2050.

Un constat s'impose : si la dépendance énergétique de la France s'est considérablement réduite depuis 1973 notamment grâce à la construction du parc nucléaire, son mix énergétique dépend encore fortement des énergies fossiles, qui couvrent 70 % de la consommation d'énergie finale et 53 % de l'énergie primaire. L'énergie primaire est l'énergie comptabilisée à l'entrée du système énergétique, qu'elle soit produite nationalement ou importée. L'énergie finale est l'énergie vendue sur le marché intérieur, après transformation de produits bruts en produits raffinés (pour les hydrocarbures notamment) ou transformation de gaz, de charbon ou de pétrole en électricité. Cette énergie finale représente 60 % environ de l'énergie primaire du fait des pertes liées aux divers rendements de la chaine énergétique (35 % de l'énergie primaire sont ainsi perdus). Il faut également tenir compte des usages non énergétiques de certains produits (pétrochimie) qui représentent 5 % de l'énergie primaire. Les produits pétroliers représentent 49 % de l'énergie finale consommée en France, l'électricité 22 % et le gaz 21 % (le reste correspond à la biomasse). Rappelons que le nucléaire fournit environ 75 % de l'électricité produite en France (le reste est fourni par l'hydraulique, un peu de charbon, un peu de gaz et un peu de renouvelables) et cela représente 40 % de l'énergie primaire car par convention le kWh nucléaire est comptabilisé sur la base de la quantité de pétrole qu'il aurait fallu importer pour produire cette électricité. Certains contestent cette façon de compter, considérant que le nucléaire est valorisé sur la base de la chaleur produite

et non de l'électricité réellement disponible pour le consommateur final. Du coup si le nucléaire correspond à 40 % de l'énergie primaire il ne représente que 17 % seulement de l'énergie finale du bilan français La facture énergétique correspondante (importations de pétrole, de gaz et de charbon) s'élevait en 2012 à 69 milliards d'euros, soit plus que le déficit de la balance commerciale (67 milliards). Dans ce contexte, le parc de production d'électricité confère à la France le triple avantage d'une électricité décarbonée, peu chère et dont l'exportation réduit le déficit commercial : sur les vingt dernières années, la France présente un solde exportateur d'électricité d'en moyenne 2,3 milliards d'euros courants par an. De plus, la production d'électricité d'origine nucléaire permet d'économiser une importation de gaz que l'on peut estimer, en ordre de grandeur, à environ 20 milliards d'euros pour l'année 2012. Certes il faut importer de l'uranium, mais le coût des importations reste inférieur au milliard d'euros par an. De plus ce coût ne représente que 5 % du prix de revient du kWh nucléaire sortie centrale. À cela s'ajoute le fait que l'uranium se stocke facilement en raison de sa forte densité énergétique. Ainsi la France dispose sur son territoire de 100 jours de consommation de produits pétroliers ou de gaz naturel mais de plus de 2 ans de consommation d'uranium.

## 2. Le contexte énergétique mondial et européen

La consommation énergétique mondiale a connu une croissance rapide durant les quarante dernières années puisqu'on est passé de 5 000 millions de tep en 1970 à plus de 12 000 millions de tep en 2010. Cela correspond à un rythme de consommation annuelle moyen de l'ordre de 2,24 %. Cette tendance, si elle devait se prolonger dans les quarante prochaines années conduirait à plus que doubler la demande énergétique mondiale à l'horizon 2050 par rapport à 2010. Cette croissance devrait être la conséquence d'une forte croissance démographique (9 milliards d'habitants en 2050 contre 7 milliards en 2010) mais aussi d'une forte croissance des besoins énergétiques des pays émergents (la Chine, l'Inde et même certains pays africains). La demande d'énergie reste très corrélée à la croissance économique et démographique, même dans des pays ayant fait de gros progrès pour réduire l'intensité énergétique du PIB. Selon l'AIE la demande mondiale d'énergie primaire serait à près de 90 % tirée par les pays émergents. Les choses sont un peu différentes dans l'Union européenne où les perspectives de croissance sont modestes. L'Union européenne est responsable de 14 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre alors qu'elle contribue à près de 26 % du PIB mondial (chiffres 2010). Selon les scénarios retenus par la Commission européenne dans sa feuille de route « Énergie 2050 » publiée en décembre 2011, la consommation énergétique de l'Union pourrait connaître une faible progression dans le scénario tendanciel ou une forte baisse (de l'ordre de 32 à 41 %). La Commission « Énergies 2050 » a considéré que les scénarios de hausse modérée ou de baisse légère de la

consommation européenne d'énergie étaient plus réalistes que ceux qui anticipaient une forte baisse de cette consommation, du moins à l'horizon 2030. L'Union européenne a déjà pris l'engagement d'une réduction de 20 % des émissions de $CO_2$ à l'horizon 2020 et offert, dans le cadre des négociations internationales, de porter cette baisse à 30 % en échange d'engagements similaires de la part des autres grands émetteurs. Elle a également pris l'engagement de porter à 20 % la part des renouvelables dans son mix énergétique à l'horizon 2020 et d'accroître de 20 % son efficacité énergétique pour le même horizon, sans que ce dernier objectif ne soit d'ailleurs contraignant ; elle a enfin adopté un objectif tendanciel de réduction des émissions de 80 à 95 % d'ici 2050. Il s'agit là d'un objectif très ambitieux car cela suppose également que la part des énergies renouvelables soit portée à plus de 40 % voire 60 % dans le bilan primaire à cette échéance, contre 10 % aujourd'hui. Plus ambitieuse encore l'Allemagne s'est fixé un objectif de réduction de 50 % de la consommation primaire à l'horizon 2050 et elle affiche que cette réduction devrait provenir pour partie d'une baisse prévue de la population à cet horizon (baisse de 10 millions d'habitants environ). Avec une population qui devrait continuer à croître la dynamique française est différente. On attend certes un prolongement de la baisse de l'intensité énergétique du PIB (de l'ordre de 20 % en 2020 si l'on s'en tient aux objectifs affichés, probablement un peu moins au vu des derniers chiffres disponibles), mais en valeur absolue, la consommation primaire d'énergie devrait soit se stabiliser soit baisser légèrement dans les prochaines années, du moins si la croissance du PIB demeure positive (la Commission « Énergies 2050 » a retenu un scénario central de 1,5 à 2 % de croissance économique par an). Avec une croissance économique nulle, il est probable que la consommation d'énergie primaire diminuera. La consommation d'énergie primaire de la France s'est établie à 265,8 Mtep en 2010. Sur les vingt dernières années, on constate un fléchissement tendanciel de la croissance de cette demande d'énergie primaire : alors que sa progression était de 4 Mtep par an en moyenne dans les années quatre-vingt-dix, elle a été de 2 Mtep en 2001 et 2002 et est ensuite restée stable (avec même un décrochage en 2009 en raison de la crise économique). Compte tenu de l'inertie des systèmes énergétiques les vingt prochaines années sont en partie bornées par le parc installé (c'est vrai pour le parc électrique, le parc des logements voire pour partie celui des automobiles) et par les technologies existantes. Ainsi le parc de logements se renouvelle en France au rythme de 1 % par an, guère plus. Au-delà de 2030 le champ des possibles devient sensiblement plus ouvert, et du coup fortement dépendant des hypothèses retenues par les modèles. Des ruptures technologiques ne sont pas à exclure. Anticiper en 2012 le monde énergétique de 2050 relève de la même difficulté que celle que nous avions lorsqu'en 1973, au moment du choc pétrolier, on anticipait le monde énergétique d'aujourd'hui.

## 3. Les scénarios analyses pour la France

Différents scénarios de prospective énergétique publiés relatifs à la France ont été analysés au cours de l'exercice prospectif « Énergies 2050 ». Ils se limitent pour la plupart à l'étude du périmètre électricité à l'horizon 2030 (sauf NégaWatt et Négatep qui élaborent des scénarios à l'horizon 2050 et des scénarios portant sur l'ensemble du mix énergétique). Certains scénarios ont été élaborés par des ONG ou des associations (NégaWatt, Global Chance, Négatep), d'autres par des acteurs du secteur de l'énergie (Enerdata/DGEC, RTE, Union française de l'électricité, AREVA, CEA). NégaWatt et Global Chance ont comme objectif la sortie du nucléaire et imaginent des évolutions radicales du mode de vie de la population (densification de l'urbanisme, alimentation locale, déplacements réduits, etc.). Négatep, dans une optique de baisse des émissions de $CO_2$, propose un usage renforcé de l'électricité décarbonée dans tous les domaines. Les autres organismes ont étudié différentes options concernant en particulier la part du nucléaire (sortie, part de 50 ou de 70 % dans la production en 2030, EPR accéléré).

À l'horizon 2030, l'évolution de la demande d'électricité présente peu de différences entre les divers scénarios si l'on excepte NégaWatt et Global Chance particulièrement volontaristes en termes de maîtrise de la demande d'énergie. L'analyse des scénarios en termes de demande met en évidence le coût des actions d'efficacité énergétique à mettre en regard de leur rentabilité. Ce coût est élevé. C'est particulièrement vrai dans le domaine du bâtiment. Le coût de l'isolation thermique d'un appartement ancien est estimé entre 15 000 et 20 000 euros et il faut trouver des modes de financement incitatifs ou recourir à des réglementations de plus en plus contraignantes (obligations de réaliser de tels investissements lors de la revente des logements par exemple).

Les scénarios décrivent une large gamme de mix électriques, mais au moyen de méthodologies et d'hypothèses extrêmement variées, en particulier sur l'équilibrage offre/demande, les durées de fonctionnement des unités de production, le solde des importations/exportations d'électricité ou sur les trajectoires nécessaires pour atteindre le mix présenté pour 2030. On distingue traditionnellement quatre méthodes de construction de scénarios :

- les scénarios dits de « *story telling* », qui ne s'appuient pas sur une modélisation ;
- les scénarios de « *back casting* » ou de téléologie, qui privilégient un ou plusieurs objectifs à atteindre et proposent des trajectoires pour y parvenir ;
- les scénarios de simulation du système énergétique à partir de modèles mathématiques, qui assurent une cohérence technico-économique, économétrique ou macroéconomique (modèles d'équilibre partiel ou d'équilibre général) ;

- les scénarios d'optimisation, qui permettent d'obtenir des trajectoires au regard de certains critères (coûts émissions de gaz à effet de serre).

Les scénarios examinés dans le rapport de la Commission « Énergies 2050 » font partie des trois premières catégories. Rappelons que cette Commission avait pour mission d'étudier les impacts micro- et macroéconomiques des divers scénarios mais n'était pas compétente pour aborder les aspects techniques liés à la sûreté nucléaire : c'est l' Autorité de sûreté nucléaire (ASN) qui est en charge de cette fonction.

Dans la plupart des scénarios, la sortie du nucléaire se traduit par un besoin plus important d'investissements. Elle a bien sûr un impact à la hausse sur les coûts de production de l'électricité, sur la facture énergétique, ainsi qu'en termes d'émissions de $CO_2$ en l'absence de solution massive de remplacement par des énergies décarbonées. Une très forte baisse de la consommation énergétique pourrait, si elle était réalisable, nuancer ces conclusions défavorables, mais sans inverser totalement la tendance. En termes d'acceptabilité, chaque solution met en évidence des contraintes sociétales réelles, mais d'ampleur très variable selon les scénarios : acceptation du nucléaire dans certains cas, refus dans d'autres, préférence pour les transports collectifs ou la voiture individuelle (électrique) selon les cas.

## 4. Les coûts complets du kWh nucléaire et non nucléaire

Le rapport « Énergies 2050 » s'est appuyé sur les estimations de la Cour des comptes (auditionnée en décembre 2011 avant la remise du rapport de la Cour fin janvier 2012) pour estimer le coût actuel du KWh nucléaire. Claude Mandil et Jacques Percebois étaient membres du Groupe d'experts auprès de la Cour lors de l'élaboration de ce rapport et il y a donc parfaite cohérence entre les chiffres de la Cour et ceux retenus par la Commission « Énergies 2050 ». Ce rapport de la Cour retient une fourchette 33-54euros/MWh selon la méthode de calcul choisie. Le « coût courant économique » correspond au prix qu'une entreprise entrant sur le marché français de l'électricité nucléaire serait prête à payer pour louer le parc actuel plutôt que de le reconstruire. Il correspond au coût « *overnight* » (coût de construction en une nuit du parc : on additionne les investissements réalisés, en monnaie constante) auxquels s'ajoutent les intérêts intercalaires du fait que ce parc n'a pas été construit en une nuit. Le coût « *overnight* » est estimé à 83 milliards d'euros 2010 et le coût des intérêts intercalaires à 13 milliards d'euros 2010 soit un total de 96 milliards d'euros 2010 pour le parc actuel de seconde génération (58 réacteurs). À cela il faut ajouter les charges futures (mais incertaines souligne la Cour des comptes), à la fois pour le démantèlement du parc et pour la gestion à long terme des déchets radioactifs (79 milliards d'euros de charges brutes soit 38 milliards de provisions, essentiellement mais pas exclusivement à la charge d'EDF). Il faut ensuite

tenir compte des charges d'exploitation annuelles estimées à 9 milliards d'euros 2010. Sur la base d'un facteur de disponibilité de l'ordre de 80 %, le calcul donne un « coût courant économique » de l'ordre de 49,5 euros par MWh. Avec les investissements de « jouvence », cela donnerait un coût de l'ordre de 54 euros/MWh sur la période 2011-2025.

Il importe à ce niveau de préciser certaines distinctions concernant le prix de l'électricité : coût économique courant, prix ou coût ARENH, tarif réglementé de vente (TRV), prix en offre de marché (OM) et prix sur le marché spot. Le prix régulé ARENH (accès régulé à l'énergie nucléaire historique) est le coût réellement supporté aujourd'hui par EDF pour produire l'électricité nucléaire et ce coût tient compte du fait qu'une partie significative des coûts d'investissements liés à la construction du parc a déjà été amortie donc payée par le consommateur final. Le « coût courant économique » est le coût supporté en moyenne sur la durée de vie totale du parc (durée de vie économique) par le consommateur français, c'est-à-dire le prix de vente sortie centrale qui permet à EDF de récupérer sous forme de recettes actualisées les dépenses actualisées supportées sur l'ensemble de la période de construction et de fonctionnement (c'est 49,5 euros/MWh si on se limite à 40 ans de fonctionnement et 54 euros/MWh si on accepte de payer 55 milliards d'euros d'investissements de jouvence supplémentaires pour prolonger la durée de vie de ce parc à 60 ans, les calculs étant faits avec un taux d'actualisation de 5 %). Rappelons qu'il n'y a pas de consensus sur le choix du « bon » taux d'actualisation. C'est pourquoi des simulations ont été faites, dans le rapport « Énergies 2050 », avec des taux variant de 2 à 8 %. Le rapport Lebègue (2005) recommandait de choisir un taux d'actualisation de 4 % en termes réels jusqu'à 30 ans et de 2 % au-delà de 30 ans. Dans le rapport « Énergies 2050 » le calcul des coûts de référence du kWh se fait avec un taux réel qui varie selon les organismes et les scénarios (parfois 8 %, souvent 5 % et dans certains cas, pour des investissements qui concernent le très long terme, 4 % jusqu'à 30 ans puis 2 % au-delà). Le coût ARENH est le coût supporté aujourd'hui par EDF si le parc est exploité sur 60 ans mais en tenant compte du fait qu'une large partie (près de 75 %) des investissements engagés dans le passé a déjà été récupérée par l'entreprise à travers les tarifs de l'électricité. Ces tarifs ont d'ailleurs fortement augmenté lors de la construction du parc dans les années soixante-dix et quatre-vingt. Ils ont baissé ensuite dans la mesure où il n'était plus nécessaire d'investir autant. Ce coût ARENH tient compte de la valeur comptable du parc, des investissements de jouvence nécessaires pour prolonger la durée d'exploitation du parc actuel mais il ne tient pas compte des coûts de renouvellement de ce parc. Il a été estimé début 2011 à 39 euros le MWh par la Commission Champsaur II (c'est même de l'ordre de 33 euros si on ne tient pas compte des coûts de jouvence estimés à 55 milliards d'euros, y compris les coûts supplémentaires de sûreté demandés par l'ASN suite à Fukushima). En pratique la Commission Champsaur II avait proposé une fourchette 38-40 euros par MWh ; le ministre a retenu

40 pour 2011 et 42 pour 2012, considérant que suite à Fukushima les investissements de sûreté à la charge d'EDF allaient être plus importants que cela n'était prévu au départ. Le niveau de l'ARENH devrait être revu en 2013 et il sera dorénavant fixé par la CRE. Rappelons, qu'aux termes de la loi NOME, le mécanisme de l'ARENH doit rester en vigueur jusqu'en 2025.

Le TRV est le prix régulé fixé par le gouvernement auquel le consommateur final achète son électricité. Ce prix tient compte du coût du kWh (donc de l'ARENH mais aussi du coût de l'électricité non nucléaire qui est nécessaire pour satisfaire la demande) auquel s'ajoutent le coût des péages de transport et de distribution et le niveau des diverses taxes (CSPE, TVA, etc.) Le prix de l'électricité TRV pour un consommateur final domestique se répartit ainsi : 40 % pour le prix du kWh, 35 % pour les péages et 25 % pour les taxes dont la CSPE (contribution qui finance notamment le surcoût des renouvelables). Le prix TRV devra évidemment tenir compte du coût de renouvellement du parc actuel le moment venu. Le prix en offre de marché (OM) est le prix auquel les consommateurs qui ont fait jouer l'éligibilité peuvent acheter le kWh à leur fournisseur (EDF ou un fournisseur alternatif). Il faut ensuite y ajouter les péages et les taxes. Le prix spot est le prix auquel se négocie le kWh sur le marché européen de l'électricité, heure par heure chaque jour, et ce prix est en principe égal au coût marginal du parc en fonctionnement donc au coût variable de la dernière centrale appelée sur le réseau. Ce prix est plus élevé aux heures de pointe qu'aux heures creuses. À certaines heures c'est le coût du nucléaire qui fixe le prix du marché (plutôt en base), à d'autres heures c'est le coût du thermique charbon, gaz ou fuel qui fixe ce prix (en pointe en général). En cas de risque de défaillance de la production ce prix de marché peut devenir très élevé. Ce prix spot est souvent commun à la France et à l'Allemagne du fait des interconnexions transfrontalières en Europe.

Le principe de l'ARENH est le suivant : pour que tous les consommateurs français puissent bénéficier de la compétitivité du parc nucléaire historique et pour que la concurrence puisse se développer sur tous les segments de la clientèle, il faut qu'EDF vende l'électricité nucléaire au même prix à ses clients et à ses concurrents (logique de « *cost-plus* »). Le prix de l'ARENH s'apparente donc, pour les fournisseurs, à un prix de gros. Rappelons qu'aux termes de la loi NOME, EDF a l'obligation de céder 25 % de sa production nucléaire (soit environ 100TWh) à ses concurrents qui en font la demande et peuvent justifier d'un portefeuille de clients en France, et ce « à prix coûtant pour EDF » mais moyennant rémunération du capital investi. C'est ce prix coûtant que la Commission Champsaur avait pour mission de calculer et de proposer au ministre. La décomposition de l'ARENH est la suivante : 6 euros/MWh au titre de la rémunération des investissements passés sur la base du WACC (investissements non amortis exclusivement), 8 euros/MWh au titre des investissements de maintenance et de prolongation (investissements récupérés au fil de l'eau selon la logique « *pass-through* » ; les investissements sont récupérés immédiatement

l'année où ils sont faits ou au plus tard l'anné suivante mais sans mettre en œuvre un échéancier d'amortissement, ce qui évite de se prononcer *a priori* sur la durée de vie du parc) et 25 euros/MWh au titre des coûts d'exploitation (charges de personnel, charges de combustibles et charges diverses). Le coût de renouvellement du parc sera quant à lui intégré dans le prix de l'électricité payé par le consommateur (donc à terme dans le TRV). Il faudra donc le moment venu, lorsque le renouvellement du parc sera nécessaire, prévoir d'augmenter les tarifs pour tenir compte de ce coût (logique de la tarification fondée sur le coût « marginal en développement »). Notons que sur les 55 milliards d'euros d'investissements de jouvence, 10 milliards sont prévus au titre de la sûreté, à la demande de l'ASN suite à Fukushima.

Dans le rapport « Énergies 2050 », le coût du MWh nucléaire varie entre 42 et 75 euros selon que l'on prend une hypothèse basse fondée sur le coût du nucléaire historique amorti ou une hypothèse haute fondée sur le coût de l'EPR produit en un petit nombre d'exemplaires (à noter que l'estimation du coût du MWh produit par un EPR est aujourd'hui supérieure à 75 euros mais il s'agit là d'un prototype et on peut espérer que ce coût baissera grâce aux économies d'échelle et à des effets d'apprentissage). La Cour évalue le coût moyen de production sur la période 2011-2025 à 54 euros le MWh si l'on prend en compte les coûts de jouvence des réacteurs actuels (coût courant économique). Les résultats ne seront évidemment pas les mêmes selon que l'on choisira le coût du nucléaire amorti (ARENH à 42 euros le MWh), le coût courant économique sans investissements de jouvence (49,5) ou avec investissements de jouvence (54) ou encore le coût estimé du MWh produit par un EPR (75). Mais sans les investissements de jouvence la prolongation de la durée de vie du parc au-delà de 40 ans est évidemment impossible. Notons aussi que sans investissements de jouvence la probabilité d'un accident grave irait en augmentant. Le coût du MWh nucléaire augmente avec la jouvence, mais le parc actuel devient plus sûr.

Le coût complet moyen du MWh non nucléaire est estimé comme suit en monnaie constante (euros 2010) par la Commission : 33 à 40 euros en 2010 (55 euros en 2030) pour l'hydraulique, 60 à 70 euros en 2010 ( 70 à 100 euros en 2030 selon le prix du $CO_2$) pour le charbon, 80 à 90 euros en 2010 (57 à 90 euros en 2030 selon le prix du $CO_2$) pour le gaz naturel, 80 euros en 2010 (70 euros en 2030) pour l'éolien on-shore, 150 à 200 euros en 2010 (110 en 2030) pour l'éolien offshore, 240 à 400 euros en 2010 (160 euros en 2030) pour le solaire photovoltaïque (à noter que depuis début 2013 les tarifs d'achat du photovoltaïque ont baissé et s'échelonnent entre 82 et 316 euros/MWh selon les cas). On s'attend à un effet d'apprentissage qui permettra de faire baisser le coût des renouvelables à l'horizon 2030 mais, malgré cela, le prix de revient du solaire demeurera sensiblement supérieur à celui de ses concurrents à cette échéance. Au-delà c'est beaucoup plus incertain. Rappelons que ce coût ne tient pas compte de l'intermittence des sources d'énergie. Il faudrait donc logiquement introduire dans le calcul économique le coût du « *back-up* » c'est-à-dire des équipements de se-

cours qui prendront le relais des renouvelables lorsque le vent ou le soleil viendront à faire défaut (souvent des centrales à gaz). Il est certain que les hypothèses faites sur le prix du pétrole, le prix du charbon, celui du gaz naturel vont avoir un impact important sur les résultats obtenus. Peut-on connaître une chute du prix du gaz, comme c'est le cas aujourd'hui aux États-Unis, si l'exploitation du gaz de schiste se développe à grande échelle en Europe, en France notamment ? Aux États-Unis, ce n'est pas Fukushima qui a compromis la relance du nucléaire, mais l'apparition d'un gaz de schiste bon marché qui fait que les centrales à gaz sont devenues le moyen de production le plus économique. Ainsi, le gaz de schiste chasse même le charbon américain de son marché national de génération électrique, et ce charbon, qui se retrouve en excédent sur le marché mondial, a tendance à chasser le gaz naturel du marché européen de la génération électrique, d'autant que le prix du gaz naturel demeure largement indexé sur celui du pétrole dans les contrats européens d'importation. La pondération accordée aux divers objectifs de politique énergétique a évidemment un impact sur le coût des divers scénarios. La Commission « Énergies 2050 » a considéré que les grandes orientations de la politique énergétique actuelle (lutte contre le réchauffement climatique, priorité à l'efficacité énergétique, développement des énergies renouvelables au rythme des engagements européens, maintien d'une large indépendance énergétique, maitrise des coûts d'accès à l'énergie) demeuraient en vigueur, même si la pondération accordée à chacune d'elles pouvait varier selon les scénarios. Elle s'est notamment appuyée sur l'hypothèse d'un prix du $CO_2$ en augmentation dans le futur. Elle recommande d'explorer l'hypothèse d'un développement des hydrocarbures non conventionnels en France, mais ne retient pas pour autant un scénario où le gaz non conventionnel bon marché pourrait modifier substantiellement les choix énergétiques à l'horizon 2030.

## 5. Les quatre options de la feuille de route

La Commission « Énergies 2050 » avait notamment pour objectif d'analyser les différents avenirs possibles de la politique énergétique de la France à l'horizon 2030-2050. Dans ce cadre, quatre options d'évolution de l'offre d'électricité ont été analysées :

- l'accélération du passage à la troisième génération du nucléaire ; elle implique qu'au moment où les réacteurs actuels (au nombre de 58) atteignent 40 ans d'âge, ils sont remplacés à puissance équivalente par des réacteurs de 3e génération (EPR) ; elle a considéré que le développement commercial des réacteurs dits de 4e génération (surgénérateurs) n'était pas réaliste avant 2040 au moins ;
- la prolongation d'exploitation du parc actuel ; la durée de vie des réacteurs actuels est prolongée jusqu'à 60 ans, sous réserve de l'autorisation formelle donnée par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et à condition de procéder aux investissements de jouvence

## Impacts des divers scénarios : analyse des quatre options

| | Coût de l'électricité 2030 | Émissions de $CO_2$ en 2030 | PIB et emplois en 2030 | Balance commerciale | Sécurité d'approvisionnement |
|---|---|---|---|---|---|
| Accélération du passage à la troisième génération | de 60 à 73 euros/MWh | 20 $MtCO_2$/an | La perte de valeur pourrait atteindre 10 milliards d'euros par an une fois le parc remplacé, ce qui induirait une perte d'emplois | Proche de l'équilibre au périmètre de la production d'électricité | Identique à la situation actuelle |
| Prolongation de l'exploitation du parc actuel | 52 à 59 euros/MWh | 20 $MtCO_2$/an | Le facteur déterminant est le coût de l'électricité : ce scénario est donc le plus favorable | Proche de l'équilibre au périmètre de la production d'électricité | Identique à la situation actuelle |
| Réduction progressive du nucléaire | de 69 à 79 euros/MWh | plus de 30 $MtCO_2$/AN | • 0,6 % du PIB<br>• 100 000 à 150 000 emplois | • 0,15 % des importations<br>• 0,35 % des exportations déficit de 5 à 8 milliards d'euros par an au périmètre de la production électrique | Sources d'approvisionnement diversifiées, mais les importations de combustibles fossiles augmentent |
| Sortie complète du nucléaire | | | | | |
| • Substitution par les énergies renouvelables | de 92 à 102 euros/MWh | 30 Mt $CO_2$/an | • 0,9 % du PIB<br>• 200 000 emplois<br>• + 0,1 % des importations<br>• 0,65 % des exportations | Dégradation de 10 milliards d'euros par an au périmètre de la production électrique | Problème de sécurité du système électrique |
| • Substitution par les énergies fossiles | 80 à 89 euros/MWh | 110 Mt $CO_2$/an | | Dégradation de 20 à 30 milliards d'euros par an au périmètre de la production électrique | Dépendance accrue |

*Source* : Rapport Énergies 2050.

demandés, y compris les investissements liés à l'amélioration de la sûreté. Rappelons que l'autorisation de prolonger un réacteur est donnée pour 10 ans au coup par coup pour chaque réacteur. Il faudrait qu'elle soit renouvelée deux fois ;

- la réduction progressive du poids du nucléaire ; à 40 ans un réacteur sur deux est prolongé et un réacteur sur deux est remplacé par un mix fossiles/ENR (centrale à gaz du type CCG et/ou électricité renouvelable) ;
- la sortie du nucléaire ; à 40 ans tous les réacteurs sont arrêtés et remplacés par un mix fossiles/ENR.

L'analyse de ces quatre options a tenu compte de critères tels que le coût de l'électricité, les besoins d'investissement, les émissions de $CO_2$, l'impact sur l'emploi, le PIB, l'influence sur la balance commerciale de la France et les enjeux de sécurité d'approvisionnement (*cf.* tableau).

Parmi les quatre options étudiées, l'élément de coût est un facteur commun de l'analyse. Ce sont les coûts complets de production qui ont été évalués : coûts d'investissement/exploitation, maintenance et combustible. On ne prend pas en compte les coûts de maîtrise de la demande, les coûts de gestion des réseaux et les coûts de *back-up* induits par chacune de ces quatre options. Les contraintes posées par les énergies intermittentes sur le système électrique ne sont pas toujours explicitement chiffrées en termes de coût unitaire. Le *World Energy Outlook* de l'AIE (2011) les a évaluées entre 5 et 25 euros/MWh, en distinguant les coûts de capacité de secours à prévoir (3 à 5 euros/MWh), les coûts d'ajustement pour compenser les fluctuations du réseau (1 à 7 euros/MWh) et les coûts de raccordement et de renforcement du réseau (2 à 13 euros/MWh). La Commission a estimé ne pas être en mesure de calculer ces coûts de « *back-up* » car ils dépendent pour partie du lieu d'implantation des équipements d'énergie intermittente et elle n'avait pas accès à cette information. Notons que les défenseurs des renouvelables expliquent que le recours à l'éolien ou au photovoltaïque permet d'économiser le combustible de centrales thermiques au moment où le renouvelable est appelé sur le réseau (effet « substitution d'énergie »). C'est un fait mais il faut aussi tenir compte des « coûts échoués » (*sunk costs*) supportés par les centrales thermiques de « *back-up* » dont le facteur de charge diminue du fait de la priorité donnée aux renouvelables. L'énergie éolienne et solaire est rémunérée hors marché via des tarifs d'achat rémunérateurs (système dit des « *feed-in tariffs* ») mais elle participe aux enchères à prix zéro sur le marché spot (coût marginal nul). Cela entraîne une translation de la courbe de « *merit order* » (les centrales sont appelées en fonction des coûts marginaux croissants) qui évince les centrales à gaz tout en faisant baisser artificiellement le prix d'équilibre sur le marché spot (on assiste parfois d'ailleurs, comme en Allemagne, à l'apparition de prix négatifs sur ce marché). Le consommateur final n'en profite pas car la CSPE qui prend en compte le surcoût des renouvelables a, quant à elle, tendance à s'accroître de sorte que le prix TTC tend plutôt à augmenter.

Les hypothèses de temps de fonctionnement des centrales CCG (centrales à cycle combiné au gaz) influent largement sur le coût complet de production. Dans les différentes options, on considère que les CCG en remplacement de centrales nucléaires fonctionnent en base (7 000 h/an) et que les CCG qui viennent en appui des énergies intermittentes fonctionnent 2 500 h/an. Il s'agit d'une hypothèse simplificatrice : dans l'idéal il faudrait calculer leur temps de fonctionnement précis pour chaque option.

Il convient également de rappeler que le manque à gagner lié à la décision d'arrêter à 40 ans une tranche nucléaire jugée sûre pour un fonctionnement jusqu'à 60 ans est très élevé : à titre d'illustration le coût actualisé en 2012 d'un arrêt à 40 ans au lieu de 60 ans de Fessenheim (en valeur actualisée 2012) est de l'ordre du milliard d'euro (soit 2 milliards d'euros en valeur actualisée en 2020 lors de l'arrêt à 40 ans). La Commission a estimé qu'une centrale nucléaire qui a fait l'objet d'un investissement de jouvence et d'une autorisation donnée par l'ASN de fonctionner au-delà de 40 ans était au moins aussi sûre qu'une centrale actuellement en fonctionnement.

Rappelons aussi que, dans toutes les options, les investissements dans les réseaux électriques seront massifs, entre 135 et 155 milliards d'euros en fonction de la part des EnR dans le mix électrique, dont les trois quarts dans le réseau de distribution.

## 6. Les conclusions du rapport

On constate que le maintien de prix bas de l'électricité constitue un atout important pour l'économie française, comparativement à ce qu'est ce prix dans la plupart des autres pays européens. Prolonger la durée d'exploitation du parc nucléaire actuel constitue dès lors la meilleure solution économique et ce pour plusieurs raisons :

- elle permet de ne pas détruire de la valeur économique. L'industrie nucléaire est la seule industrie au monde qui vit sous la menace d'une interdiction régalienne de fonctionner du jour au lendemain alors même que sa rentabilité économique est actuellement assurée, même si des incertitudes demeurent quant au coût du démantèlement des installations. On objectera que c'est aussi la seule industrie civile qui ne puisse pas assurer ses dommages potentiels sans intervention de l'État en cas d'accident grave ; c'est l'État voire un *pool* d'États européens qui prennent en charge les dommages subis au-delà d'un certain montant, du fait des règles exorbitantes du droit commun qui caractérisent l'assurance du risque nucléaire (*cf. infra*). Arrêter des centrales pour des raisons liées à la sûreté est légitime ; le faire pour d'autres raisons ne l'est plus car cela revient à détruire de la valeur économique. *In fine* c'est donc le degré d'aversion au risque du décideur qui permettra de trancher. La Commission a estimé que le respect de l'exigence de sûreté devait l'emporter sur tous les autres

critères mais elle a considéré en même temps que si l'ASN donnait son autorisation d'exploiter, arrêter des centrales qui marchent ne se justifiait pas dans l'état actuel et prévisible des contraintes économiques ;

- elle permet à l'économie française et tout particulièrement aux industries électro-intensives de conserver un atout dans la compétition mondiale ; l'émergence d'hydrocarbures non conventionnels abondants et bon marché aux États-Unis explique largement la relocalisation en cours des industries de la pétrochimie et de la gazo-chimie dans ce pays. Si on veut éviter une délocalisation industrielle de certains électro-intensifs voire encourager la relocalisation de certaines activités industrielles il faut profiter de cet atout que constitue une électricité nationale compétitive ;
- elle permet d'attendre l'émergence de technologies plus performantes et moins coûteuses, que ce soit dans le domaine des énergies renouvelables ou dans celui de nouveaux réacteurs nucléaires (génération IV notamment) ; au-delà de 2030, des mutations technologiques sont probables et il ne faut fermer aucune porte ;
- elle permet de maintenir un appareil industriel de pointe et des compétences technologiques de haut niveau qui permettent à la France de conserver un leadership dans un secteur particulièrement prometteur dans le futur à l'échelle mondiale.

Bien évidemment il faudra investir pour allonger cette durée de vie et garantir la sûreté des installations, mais c'est la solution qui, dans l'état actuel des informations disponibles, reste collectivement la moins coûteuse et procure les retombées macroéconomiques les plus fortes. En d'autres termes allonger la durée de vie du parc nucléaire actuel, sous des conditions bien précises (à la fois en termes de sûreté et d'investissements nouveaux) est la solution qui, sur le plan économique, permet de limiter les regrets. Il faut bien comprendre que l'intérêt du nucléaire tient aujourd'hui au fait que le parc est largement amorti et que l'allongement de sa durée de vie, même si elle est coûteuse, reste meilleur marché que d'investir massivement dans de nouveaux équipements. Cela suppose que la demande d'électricité restera forte en France. Le rapport « Énergies 2050 » exclut de fait les scénarios très volontaristes qui affichent une réduction de moitié voire plus de la demande d'énergie (et d'électricité) à l'horizon 2050. Certes le potentiel d'économies d'énergie est important mais il ne faut pas perdre de vue que la population française va s'accroître et avec elle les besoins en énergie. Cela suppose aussi que l'acceptabilité sociale du nucléaire ne sera pas remise en cause, ce qui revient à exclure un accident nucléaire majeur en France.

Deux types de coût posent un problème particulier et cela a été souligné par la Cour des comptes comme par la Commission « Énergies 2050 » : le coût d'un accident majeur, d'une part, et celui du démantèlement des installations nucléaires, d'autre part.

## 7. Le coût d'un accident nucléaire

La prise en compte du coût d'un accident nucléaire grave montre que le coût pour la collectivité n'est pas le même que pour l'exploitant. Le risque nucléaire est un risque partiellement assurable et qui bénéficie d'un statut dérogatoire du droit commun. Le risque nucléaire n'est pas assimilable à un risque industriel classique : sa probabilité d'occurrence est très faible mais en cas d'accident les conséquences économiques sont très importantes. Le système français (et européen) d'assurance est proche du système américain tel que formalisé dans le Price Anderson Act de 1957. Ce système introduit au départ aux États-Unis pour une période de 10 ans devait permettre au secteur privé de l'assurance de prendre le relais, mais la loi a été prorogée dix fois depuis ce qui prouve que le secteur privé n'est pas en mesure d'assurer l'intégralité de la couverture d'un tel risque majeur. En France, en cas d'accident, la responsabilité est « objective » (la victime n'a pas à démontrer la faute, il lui suffit d'établir le lien entre le fait générateur et le préjudice subi), canalisée sur l'exploitant de l'installation nucléaire, mais, en contrepartie, limitée dans le temps (dix ans pour engager la procédure) et dans son montant : pour que le risque demeure assurable, divers plafonds sont prévus. Les Conventions de Paris (1960) et de Bruxelles (1963) prévoient trois tranches d'indemnisation. La première est à la charge de l'exploitant (qui doit s'assurer auprès de sociétés d'assurance), la seconde à la charge de l'État où se situe l'exploitation, et la troisième à la charge du *pool* des États européens signataires des deux Conventions. Signalons que certains États sont signataires d'une autre Convention (celle de Vienne) et que d'autres restent en dehors de toute convention internationale et ont une législation purement nationale, ce qui implique que les dommages transfrontaliers ne peuvent pas être pris en compte (cas des États-Unis, du Japon, de la Chine notamment). Mais dans tous les cas de figure, les plafonds d'indemnisation prévus restent faibles et loin des chiffres avancés à propos de la catastrophe de Fukushima, par exemple. En cas d'accident majeur, c'est donc l'État du pays concerné qui sera « l'assureur en dernier ressort », et le contribuable paiera. La couverture des risques majeurs est une question complexe et les grandes catastrophes donnent souvent lieu à une intervention de l'État, qui finance sur fonds publics ce que les compagnies d'assurance et de réassurance ne financent pas.

L' Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) considère que plusieurs types de coûts doivent être pris en compte en cas d'accident : de dégâts directs sur le site accidenté, de décontamination des populations à court et à long terme, de décontamination des territoires contaminés (y compris les mesures de compensation pour les populations déplacées), enfin macroéconomiques indirects (impact sur l'activité économique, impact sur le tourisme, sur la production agricole, le tout sous forme de baisse du PIB). Les estimations de l'IRSN donnent un coût moyen compris entre 70 milliards d'euros pour un accident impliquant des rejets radioactifs contrôlés à 430 milliards d'euros pour un accident de type Fukushima.

Dans ce dernier cas la perte du réacteur lui-même ne représente que 2 % du coût total. Près de 40 % sont imputables aux conséquences radiologiques (nettoyage du site, conséquences sur la santé, relocalisation des populations et coût des terres perdues). Les coûts d'image (chute du tourisme, boycottage des produits agricoles), et les pertes indirectes de production agricole ou industrielle peuvent représenter jusqu'à 38 % de la facture. Le coût énergétique induit est estimé à 20 % du coût total : un accident majeur entraînerait une réduction inévitable de la durée d'exploitation voire une fermeture partielle du parc nucléaire, sous la pression de la population, donc un manque à gagner sous forme de kWh, et nécessiterait de recourir à des énergies alternatives (importations de gaz ou de charbon, investissements accélérés dans les énergies renouvelables). On peut comparer ces chiffres à ceux d'autres catastrophes : le tremblement de terre de Kobé (100 milliards de dollars), l'ouragan Katrina (125 milliards de dollars). Le nombre de morts appelle aussi des comparaisons. L'exploitation du charbon cause plusieurs milliers de morts chaque année dans le monde (notamment en Chine), la catastrophe de Bhopal a tué 3 500 personnes en une nuit, la rupture du barrage de Malpasset a fait 423 morts ou disparus, alors que le nucléaire civil a peu tué directement dans le monde, exception faite sans doute de Tchernobyl. Certains considèrent que la mortalité indirecte sous forme de cancers est cependant loin d'être négligeable. Les difficultés à évaluer la mortalité indirecte à long terme, les problèmes méthodologiques soulevés par l'estimation de la valeur de la vie humaine ne facilitent pas les calculs et alimentent les controverses. La Commission « Énergies 2050 », à l'instar de la Cour des comptes, a comptabilisé dans le coût du MWh nucléaire les coûts d'assurance et provisions payés par les divers opérateurs pour leurs installations nucléaires de base (INB) mais ne comptabilise pas ces coûts « externes » potentiels.

## 8. Le coût du démantèlement des installations et du stockage des déchets radioactifs

Il est difficile par nature d'estimer les coûts futurs de démantèlement des installations nucléaires ou de stockage des déchets mais il est faux de dire que ceux-ci ne sont pas pris en compte dans le calcul du prix de revient du kWh nucléaire. Ils donnent d'ailleurs lieu à constitution de provisions de la part des opérateurs (EDF, CEA et AREVA). Par principe les coûts de déconstruction représentent un pourcentage des coûts de construction (15 % environ) et ils donnent lieu à constitution de provisions par les opérateurs. Les dépenses futures de démantèlement sont d'abord estimées en valeur brute. C'est ensuite la valeur actualisée de ces dépenses qui est inscrite au passif des exploitants. Les exploitants (EDF, CEA et AREVA) ont retenu un taux d'actualisation identique de 5 % en valeur nominale, qui correspond à la combinaison d'un taux d'inflation anticipé de 2 % et d'un taux réel d'actualisation proche de 3 % (2,94 % exactement).Il en va de même pour

le calcul des provisions liées à l'entreposage et au stockage des déchets (faible, moyenne ou haute activité, à vie courte comme à vie longue). L'entreposage se fait sur le site de production des déchets (centrales nucléaires, Marcoule, Cadarache, La Hague). Les déchets à faible période sont gérés pour l'essentiel via un entreposage. Rappelons que la période est le temps nécessaire pour qu'un radioélément perde la moitié de sa radioactivité et cela peut aller de quelques secondes à des milliers voire des millions d'années. Les déchets à faible activité mais vie longue (au-delà de 30 ans) seront stockés dans des sites en voie d'aménagement. Les déchets les plus contraignants donc les plus coûteux à gérer sont ceux qui cumulent une forte radioactivité et une période de plus de 30 ans. Le stockage de ces déchets HAVL et MAVL (déchets à haute ou moyenne activité et vie longue) dans un site souterrain prévu à 500 mètres de profondeur (projet CIGEO à Bure dans la Meuse) était estimé à 14,1 milliards d'euros en moyenne en 2005 soit 16,5 milliards d'euros aux conditions économiques de 2012. Ce montant est utilisé par les producteurs de déchets pour calculer leurs charges futures et les provisions correspondantes. L'ANDRA a revu récemment le coût à la hausse du fait d'un accroissement du volume de déchets à stocker suite à l'allongement probable de la durée de vie du parc des réacteurs (on parle de 35 milliards d'euros mais ce chiffre n'est pas validé et est contesté par les producteurs). Un groupe de travail étudie actuellement ce chiffrage et le ministère devrait fournir fin 2013 des estimations plus précises avant que ne s'ouvre le débat public sur ce projet CIGEO. Rappelons qu'il s'agit de coûts échelonnés sur une longue période (100 ans puisque la loi prévoit un stockage réversible sur un siècle) et que diverses options techniques sont aujourd'hui à l'étude. Des optimisations sont donc possibles et seraient de nature à modifier les chiffres. La répartition des coûts du stockage par nature de dépenses devrait être la suivante : 27 % pour l'investissement lui-même, 41 % pour l'exploitation et 32 % pour charges diverses (impôts, assurance ). Même si, en pourcentage, le coût du stockage ne représente qu'une très faible proportion du prix de revient du kWh nucléaire (de l'ordre de 1 à 2 %), il est important que les chiffres soient connus de façon plus fiable afin que les opérateurs constituent les provisions nécessaires au financement le moment venu. La répartition des contributions entre producteurs de déchets se fera au prorata du volume estimé des déchets : 78 % pour EDF, 17 % pour le CEA et 5 % pour Areva. La Cour des comptes suggère dans son rapport que, par prudence, l'on reconsidère à la hausse les provisions actuelles. D'autres questions vont également se poser : comment se fera la tarification destinée à recouvrer les fonds nécessaires ? Les provisions constituées par les opérateurs pour le démantèlement des INB comme pour le stockage des déchets sont-elles « sécurisées » ? La Cour des comptes a soulevé le problème dans son rapport. La Commission « Énergies 2050 » a conduit ses travaux sur la base des chiffres fournis par les opérateurs sans étudier l'impact d'une dérive des coûts.

## 9. Conclusion

La Cour des comptes a raison de souligner qu'il n'y a pas de coûts cachés dans l'estimation du kWh nucléaire et du coup la compétitivité du kWh nucléaire demeure un atout pour l'industrie française comme pour le particulier confronté à un risque croissant de précarité énergétique. On connait bien les coûts supportés dans le passé, y compris les coûts financés sur crédits publics dans le domaine de la recherche. Il y a en revanche des incertitudes concernant les coûts futurs, que ce soit les coûts de jouvence, ceux du démantèlement des installations ou ceux qui concernent le stockage des déchets. Ces incertitudes sont par nature inévitables puisqu'elles concernent des activités industrielles pour lesquelles l'effet d'apprentissage ne joue pas encore Elles soulèvent donc des interrogations concernant la pertinence des provisions constituées par les divers opérateurs, EDF spécialement. Les provisions pour démantèlement et pour gestion des déchets sont probablement sous-estimées aujourd'hui, comme le souligne aussi la Commission nationale d'évaluation du financement des charges de démantèlement des installations nucléaires de base et de gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs (CNEF). Une autre interrogation porte sur leur caractère suffisamment sécurisé ou non. Les fonds doivent être disponibles le moment venu et cela concerne le long, voire le très long terme. Les opérateurs ont l'obligation de par la loi de détenir des actifs dédiés et sécurisés (titres publics, actifs réels ; RTE est un actif dédié qui sert de garantie à EDF par exemple, à concurrence de 50 % de sa valeur) mais ces actifs ne sont pas gérés par des fonds indépendants. Ces actifs de couverture restent la propriété de l'exploitant et, étant placés, ils rapportent. Que se passerait-il dès lors si l'opérateur venait à disparaître ? Ne vaudrait-il pas mieux placer ces provisions dans des fonds de garantie indépendants, voire des fonds publics ? Mais la principale incertitude concerne les conséquences économiques d'un accident nucléaire grave en France. Il est évident que le système d'assurance en vigueur ne permettrait pas de faire face à l'ensemble des coûts directs et indirects probables. Ces interrogations ne sont toutefois pas de nature à remettre en cause l'option nucléaire pour les rapporteurs de la Commission « Énergies 2050 » mais c'est au pouvoir politique de trancher, en fonction de ses préférences et de son aversion au risque.

# Références bibliographiques

CNEF (Commission nationale d'évaluation des charges de démantèlement et de stockage des déchets) (2012) : *Rapport de Jean-Luc Lépine*, juillet.

Commission « Énergies 2050 » (Jacques Percebois et Claude Mandil (rap.) (2012) : *Rapport au ministre de l'Énergie*, DGEC et CAS, février.

Cour des comptes (2012) : *Les coûts de la filière électronucléaire*, rapport public thématique, janvier.

# Résumé

Par *risques majeurs*, on entend ceux qui s'attachent à des événements dont les conséquences défavorables, pour l'humanité ou pour l'environnement, sont d'une gravité exceptionnelle. On n'ajoutera ni que ces événements sont d'une intensité physique extrême, ni qu'ils surviennent rarement, car ce n'est pas toujours le cas. Parmi les risques majeurs de nature civile, seuls considérés ici, on distingue les *risques naturels*, comme ceux d'inondation et de submersion marine, illustrés par la tempête Xynthia en 2010, les *risques technologiques industriels*, comme celui d'explosion illustré par la catastrophe AZF en 2001, les *risques nucléaires*, qu'on traite séparément parce qu'ils mettent en jeu le phénomène de la radioactivité, et qu'illustrent, hors de France, les catastrophes de Three Miles Island (1979), Tchernobyl (1986) et Fukushima (2011), les risques *sanitaires*, comme celui qu'a représenté l'encéphalopathie bovine spongiforme (EBS), les risques *alimentaires*, parfois liés aux précédents – ainsi avec l'EBS –, enfin, moins bien cernés parce que récemment apparus dans la représentation collective, le *risque climatique* et le *terrorisme*.

Ce rapport du CAE commence par thématiser le risque majeur pris généralement (section 1), mais il ne développe que les risques naturels, technologiques (l'adjectif « industriels » étant désormais sous-entendu) et nucléaires, et il n'étudie que le territoire français (mais sans négliger l'outre-mer). Il aborde les trois risques transversalement, à travers les prismes de la géographie et de la technologie (section 2), de l'histoire institutionnelle et juridique (section 3), enfin d'un bilan normatif et de recommandations (section 4). Neuf compléments spécialisés accompagnent le document principal. Ils sont dus à A. Quantin et D. Moucoulon (Caisse centrale de réassurance), V. Sanseverino-Godfrin (Mines-Paritech), C. Grislain-Letrémy et B. Villeneuve (Université Paris-Dauphine), A. Schmitt et S. Spaeter (Université de Strasbourg), P. Saint-Raymond (Conseil général des Mines), F. Ménage (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire), R. Lahidji, M. Pappalardo (Cour des comptes), J. Percebois (Université de Montpellier). Lors des auditions préalables, d'autres experts encore ont bien voulu faire partager leur savoir aux responsables de ce rapport. En livrant aujourd'hui un ouvrage d'un format exceptionnel, ceux-ci espèrent avoir su y rassembler, non seulement, comme il convient au CAE, des évaluations et des préconisations destinées aux pouvoirs publics, mais aussi une synthèse utilisable par tous ceux, observateurs ou décideurs, que préoccupent les trois grands risques étudiés ici.

## 1. Le risque en général et les risques majeurs

La notion de risque apparut au XV^e siècle dans le contexte étroit des expéditions maritimes et y resta longtemps confinée, mais elle finit par prendre son essor avec la révolution probabiliste du XVIII^e siècle, qui l'enrichit d'un instrument de calcul de l'incertitude dont la portée semblait universelle. On la voit alors se diffuser, et dans la pensée commune, où elle deviendra omniprésente, et dans le discours savant, où elle se ramifie suivant les disciplines qui l'emploient. Les ingénieurs définissent le risque lié à un événement incertain et dommageable par une double donnée, celle d'une valeur de probabilité pour la réalisation de l'événement et d'une mesure quantitative des pertes que celle-ci cause, et ils proposent souvent de combiner les deux nombres multiplicativement. Pour les économistes, qui ont développé leurs propres outils, cette formule n'est que le cas particulier d'une règle plus générale, celle de l'espérance de perte, qui considère un nombre quelconque d'événements et qui fait alors une somme de termes multiplicatifs au lieu d'en considérer un seul à la fois. Les ingénieurs en sont venus à reprendre cette règle et ses multiples raffinements, de sorte que le traitement mathématique du risque se trouve en partie unifié aujourd'hui.

Les juristes, en revanche, apparaissent largement réfractaires à la quantification du risque, et leur définition, dont voici un exemplaire, s'apparente plutôt à une simple mise en forme de la pensée commune : « éventualité d'un événement futur, incertain ou d'un terme indéterminé, ne dépendant pas exclusivement de la volonté des parties et pouvant causer la perte d'un objet ou tout autre dommage » (*Vocabulaire juridique*, Cornu, 1987). Aujourd'hui cependant, le droit européen fait place aux méthodes des ingénieurs, et sous son influence, le droit français commence à les intégrer dans les textes réglementaires, si ce n'est dans les textes de loi.

Un autre groupe disciplinaire enfin se penche sur le risque, et spécialement le risque naturel, celui des géographes et cartographes, et pour eux, la notion se ramène à trois constituants. L'*aléa* est l'événement incertain et dommageable, supposé en tout ou en partie indépendant de la volonté de l'homme, comme dans le cas des catastrophes naturelles ; les *enjeux* sont les valeurs socio-économiques – vies humaines, capitaux, patrimoine environnemental, chiffres d'affaires d'entreprise et revenus des particuliers – que la réalisation de l'aléa est susceptible d'endommager ; enfin, la *vulnérabilité* fixe le degré auquel ces valeurs seront effectivement détruites. Quand elles ont une expression numérique, ces notions se combinent ainsi :

$$\textit{Pertes (ou dommages)} = \textit{enjeux} \times \textit{vulnérabilité}$$
$$\textit{Risque} = \textit{aléa} \times \textit{pertes} = \textit{aléa} \times (\textit{enjeux} \times \textit{vulnérabilité})$$

On retrouve la formule multiplicative des ingénieurs, l'aléa s'identifiant à sa probabilité, et les pertes étant décomposées, ce qui est très utile, en un facteur de perte maximale (les enjeux) et un pourcentage de destruction effective (la vulnérabilité). Comme la formule des ingénieurs est un cas

particulier de celle des économistes, on peut conclure que, à l'exception du droit et malgré certaines dissemblances, les spécialités du risque partagent une analyse commune.

Ce trait a facilité les choix méthodologiques du rapport : il a semblé possible à ses auteurs de recourir à la théorie économique de la décision risquée sans rompre avec l'apport considérable de l'ingénierie et de la géographie. Pour s'articuler au mieux sur la pensée juridique, ils ont choisi d'éviter le formalisme mathématique et de privilégier dans l'expression les concepts d'aléa, d'enjeux et de vulnérabilité, qui relèvent du bon sens tout autant que du savoir technique. Ils inspirent d'ailleurs les documents officiels français (voir le guide publié en 2011 par le ministère du Développement durable, *La démarche française de prévention des risques majeurs*) et même étrangers ou internationaux, ce qui par soi-même les impose à l'attention.

Les caractères généraux du risque étant posés, il restait à définir ce qu'est un risque majeur. Le rapport se contente d'en faire un risque social de grande ampleur, en mesurant celle-ci, quand les données le permettent, par l'espérance mathématique des pertes (définies par les produits *enjeux* x *vulnérabilité*). En pratique, ce critère implique celui d'un nombre important de personnes exposées, qui se présente également à l'esprit. Si la définition offre une difficulté conceptuelle, il faut la chercher dans la manière de séparer les risques individuels des risques sociaux, dont les risques majeurs figurent comme une sous-classe. Des auteurs comme Beck et Ewald ont bien mis en valeur la tendance caractéristique des sociétés contemporaines à « socialiser les risques », ce qui recouvre en fait une multiplicité de phénomènes : l'imbrication des activités individuelles fait que chacun peut faire peser un risque sur d'autres ; une part croissante des risques est prise en charge collectivement par l'assurance privée ou l'État-providence ; tout en parant aux risques anciens, la société en fait naître de nouveaux qui peuvent être encore plus graves ; s'occuper des risques avant et après la réalisation de l'aléa devient une activité sociale prééminente ; les risques entrent dans la délibération politique non moins que le partage des richesses. Tout en rendant justice à ces idées, le rapport ne cherche pas à les approfondir, et il s'autorise une délimitation intuitive des risques sociaux, à l'intérieur desquels les risques majeurs se détachent simplement par leur gravité particulière.

Les préalables du rapport s'achèvent par une taxinomie des réponses que l'action publique est susceptible de leur apporter :

- les mesures *ex ante*, c'est-à-dire antérieures à la réalisation de l'aléa, comportent la reconnaissance du risque et son évaluation technique ou scientifique, la surveillance des indicateurs avancés, l'information des intéressés, éventuellement complétée d'une délibération publique, enfin les mesures de prévention ;
- les mesures *intérim*, qui se situent une fois l'aléa réalisé, mais avant que toutes ses conséquences aient eu lieu, sont la gestion de crise et l'atténuation (ou «mitigation») des premiers dommages ;

- les mesures *ex post*, c'est-à-dire postérieures à la réalisation et à la constatation intégrales des dommages, portent sur leur réparation matérielle ou monétaire, et il s'y ajoute le retour d'expérience, qui nourrira les prochaines mesures *ex ante* ;
- les mesures *combinées*, en ce sens qu'elles se prennent *ex ante*, mais ont des effets inflexibles *ex post* ; elles consistent à instaurer une assurance ou à poser des règles de responsabilité civile qui fixent les transferts à effectuer si l'événement se réalise.

Une indemnité discrétionnaire, comme l'État en distribue après les catastrophes, se distingue économiquement d'une indemnité d'assurance de même valeur, d'où l'on voit que les mesures *ex post* se distinguent des mesures dites ici combinées. Celles-ci diffèrent en outre de la prévention et des autres mesures *ex ante* par le caractère non aléatoire des effets qu'elles sont destinées à produire.

## 2. L'exposition aux risques majeurs en France

On reprend ici les trois groupes de risques majeurs, en rappelant s'il y a lieu leurs mécanismes physico-chimiques et en proposant chaque fois un échantillon de la cartographie disponible. Les catégories d'aléa, d'enjeux, de vulnérabilité ordonnent la présentation. C'est en prenant les trois composantes d'un risque, et non pas la seule composante d'aléa, qu'on peut décider dans quelle mesure un territoire s'y trouve exposé, et les cartes rempliraient pleinement leur rôle si elles représentaient ces trois composantes à la fois.

### 2.1. L'exposition aux risques naturels

Le ministère du Développement durable fixe ainsi la liste des phénomènes naturels à risques :

- inondations (principaux cas : crues, ruissellements, remontées de nappe, submersions marines) ;
- mouvements de terrain (principaux cas : affaissements, effondrements, éboulements, glissements de terrain, recul côtier, tassements différentiels) ;
- séismes ;
- avalanches ;
- éruptions volcaniques ;
- feux de forêts ;
- phénomènes liés à l'atmosphère (principaux cas : cyclones, tempêtes, grêle, neige).

Lorsqu'un de ces aléas se réalise, ses conséquences n'ont pas toujours le niveau de gravité des conséquences qui définit un risque majeur. En s'appuyant sur ce critère, le rapport met en exergue trois phénomènes naturels,

d'une part, *les inondations*, d'autre part, *les tassements différentiels*, enfin les *cyclones et tempêtes*. Les tassements différentiels sont aussi désignés – plus clairement – comme *retraits et gonflements des argiles* : en se rétractant ou en se gonflant, les argiles peuvent déplacer de plusieurs centimètres le sous-sol d'un bâtiment, avec des effets parfois importants sur les murs et les fondations. Les grandes sécheresses estivales sont propices au phénomène, qui s'est produit avec une ampleur inaccoutumée pendant l'année caniculaire 2003.

Le territoire national est particulièrement exposé au risque d'inondation, ce qu'on explique, du point de vue l'aléa, par la géographie de la métropole, soumise à d'abondantes précipitations océaniques et parcourue de vastes bassins fluviaux. Du point de vue des enjeux, l'exposition au risque vient de la concentration traditionnelle des hommes et de leurs activités le long des fleuves et des côtes. La vulnérabilité dépend des équipements préventifs, que les services de l'État ont multipliés à partir du XIX$^{e}$ siècle, ainsi, naturellement, que de la répartition et de la qualité des constructions ; or sous ces deux rapports, elles laissent beaucoup à désirer. Au total, près de la moitié des communes sont exposées. Hors ruissellement urbain, l'Office international de l'eau évalue les surfaces fréquemment inondables entre 5 et 7 % du territoire métropolitain. Le ministère du Développement durable poursuit un vaste travail de cartographie de l'aléa, qui est encore loin d'être exhaustif, même pour la partie menacée du territoire.

Dans l'ordre de la diffusion territoriale, les tassements différentiels viennent aussitôt après les inondations. La présence de l'aléa dépend à la fois de la nature argileuse du sous-sol et des variations locales de température. Les enjeux sont exclusivement des bâtiments, et les maisons particulières sont plus fragiles que les immeubles ; ainsi l'urbanisation diffuse et la multiplication des résidences secondaires contribuent à la vulnérabilité. À un degré ou un autre, la métropole est exposée à 60 % avec, spécialement, le Bassin parisien et le Bassin aquitain, le département du Puy-de-Dôme, la vallée de la Moselle, certaines parties du nord et du sud-est du pays. La cartographie de l'aléa est en cours ; elle doit être à grande échelle, car il n'est pas même uniforme sur le territoire d'une commune donnée.

Les deux risques précédents se détachent des autres en vertu, également, de leur importance économique. On les retrouve en tête si l'on prend le nombre absolu de « sinistres catastrophes naturelles » constatés sur la période 1995-2005 (respectivement 501 000 et 231 000 sur un total de 778 000) aussi bien que leurs coûts associés (respectivement 4,68 et 3,53 milliards d'euros). Toutefois, ces données biaisent la comparaison, car le droit français restreint la définition des catastrophes naturelles, et il en exclut notamment la plupart des phénomènes liés à l'atmosphère. Seuls comptent à ce titre les cyclones qui surviennent outre-mer (tels que définis par la force des vents sur une certaine durée) ; or les tempêtes qui se produisent en métropole peuvent être économiquement désastreuses. Celles de 1999, Lothar et Martin, ont donné lieu à 6,9 milliards d'euros pour les

seuls dommages indemnisés (données de la Fédération française des sociétés d'assurance en 2009). Quant à la tempête Xynthia de février-mars 2010, elle se serait traduite par plus de 400 000 sinistres pour 1,5 milliard d'euros à la charge des assureurs (estimation actuelle du même organisme). Les dommages totaux excèdent ces montants, ce qui place le risque de cyclone et tempête au même niveau que celui d'inondation et largement au-dessus de celui de tassement différentiel.

### 2.2. L'exposition aux risques technologiques

Faute de données commodes chez les géographes ou les ingénieurs, le rapport a choisi de s'appuyer directement sur une catégorie administrative, celle d'*installation classée pour la protection de l'environnement* (ICPE). Elle provient du droit français, avec pour source principale une loi de 1976, mais elle s'inscrit nettement désormais dans le droit européen, avec pour sources principales trois directives dites Seveso (1982, 1996 et 2012). Une nomenclature établie en Conseil d'État fixe les types d'ICPE en faisant figurer les unes en raison des *substances* manipulées ou stockées (toxiques, explosives, comburantes, etc.), et les autres en raison des *activités* pratiquées (toutes les branches industrielles et agricoles en comportent). Ni cette distinction, ni la nomenclature en général n'ont de fondement conceptuel solide, mais celle-ci répond aux besoins pratiques de l'administration et, en particulier, du corps d'inspection spécialisé qui surveille les établissements où se rencontrent des ICPE.

La nomenclature subdivise les ICPE en trois régimes administratifs en fonction de la gravité du danger qu'elles présentent, mesurée par certains seuils quantitatifs. L'exploitant se contente d'une déclaration pour les moins dangereuses, mais il doit solliciter une autorisation pour les autres, et celle-ci peut lui être accordée avec servitudes d'utilité publique pour la maîtrise de l'urbanisation. De date récente, il existe une procédure d'enregistrement qui est intermédiaire entre la déclaration et l'autorisation. Le droit européen est venu compliquer cet édifice en introduisant la notion d'*établissement Seveso*, que le droit français a transposée ainsi dans la nomenclature : il identifie la catégorie « Seveso à seuil haut » à celle des ICPE soumises à autorisation et servitude, et il fait entrer la catégorie « Seveso à seuil bas » dans celle, beaucoup plus large, des ICPE soumises à autorisation simple. La cohérence des idées ne s'en est pas vue améliorée, parce que le concept d'établissement (que privilégient les directives) ne coïncide pas avec celui d'installation (que privilégient les lois françaises).

D'après les données recueillies auprès de l'inspection des ICPE, on compterait 500 000 établissements comportant des ICPE, dont 45 000 soumis à autorisation. La cartographie permet de localiser les aléas sous la forme, au moins, des établissements Seveso, et il est alors possible d'évoquer sommairement les enjeux en superposant une carte des densités de population. Cette représentation fait apparaître l'ampleur du risque tech-

nologique tout en l'expliquant : les entreprises se sont installées dans les mêmes lieux que la population générale trouvait commodes, typiquement le long des voies de communication et près des débouchés commerciaux ou des bassins d'emplois, et ces deux phénomènes de polarisation spatiale se sont renforcés l'un l'autre.

### 2.3. L'exposition au risque nucléaire

Pour traiter de l'exposition au risque nucléaire, le rapport n'a retenu que les *accidents de centrales*, en écartant deux autres cas : l'exposition non accidentelle à la radioactivité, par exemple de la part des personnels médicaux, et celle des populations aux carburants et aux déchets fissiles à l'occasion du transport ou de l'entreposage.

Le territoire français compte actuellement 12 réacteurs nucléaires arrêtés, 58 réacteurs en activité répartis dans 19 centrales nucléaires, et un réacteur en construction. Les premiers appartiennent au type ancien (uranium naturel-graphite-gaz), et les seconds à la génération II du type à eau pressurisée (REP), mise en œuvre à partir des années soixante-dix. Au fil des années, ce parc a fait l'objet d'avancées techniques progressives en fonction des enseignements recueillis dans le monde entier, y compris à l'occasion des catastrophes emblématiques. Aujourd'hui en construction à Flamanville, le réacteur EPR (*European Pressurized Water Reactor*) représente la génération III, qui bénéficiera d'une sûreté renforcée.

Les ingénieurs distinguent trois fonctions essentielles à la sûreté d'une centrale : le refroidissement du cœur, le contrôle de la réaction en chaîne, et le confinement des produits radioactifs. C'est à partir de la défaillance d'une ou plusieurs de ces fonctions qu'ils élaborent leurs scénarios hypothétiques d'accidents, en suivant une analyse causale qui est, en général, purement déterministe. Les dispositions préventives qui font suite à ce travail d'évaluation répondent à un objectif, la *défense en profondeur* de la centrale, qui est au cœur de la doctrine française de sûreté. Comme dans l'ordre militaire, les lignes de défense jouent tour à tour, en ne s'activant que si les précédentes sont débordées. Chacune consiste en un certain dispositif de structure, de fonctionnement normal et d'intervention exceptionnelle, qui est normalement suffisant pour parer aux accidents de la classe considérée. La résistance d'une ligne de défense s'exprime par des marges de sûreté, c'est-à-dire des écarts maximaux tolérables par rapport au fonctionnement attendu. Ainsi, l'amélioration de la sûreté peut prendre la forme soit de l'adjonction d'une nouvelle ligne de défense, soit, plus couramment, de l'accroissement des marges, à nombre de lignes égal.

Le rapport insiste sur une particularité de la doctrine française de sûreté, qui est de faire peu de place au raisonnement probabiliste. Apparues dans les années quatre-vingt-dix sous l'influence de travaux américains, les *évaluations probabilistes de sûreté* restent limitées dans leur objet (elles ne portent que sur les défaillances internes), et il reste en outre à les articuler

sur la défense en profondeur. Dans la conception actuelle, celle-ci ne vise rien de moins que le risque nul ou négligeable, étant donné le savoir du moment. Quoiqu'on en pense par ailleurs de cette conception, on ne peut pas lui reprocher d'être statique, car elle justifie d'incessantes améliorations avec le retour d'expérience. C'est ainsi que l'accident de Fukushima devrait se traduire pour EDF par un montant de travaux supplémentaires allant de 8 à 12 milliards d'euros.

L'exposition du territoire au risque nucléaire est facile à décrire tant qu'il s'agit de l'aléa, mais elle échappe à une analyse plus fine qui tiendrait compte des enjeux et de leur vulnérabilité. Les estimations de dommages portent sur 60 milliards dans le cas d'un accident grave, comme celui de Three Miles Island, et de 600 à 1 000 milliards dans le cas d'une catastrophe, comme celles de Tchernobyl ou de Fukushima. Communiqués par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et la Cour des comptes en 2012, ces chiffres résultent d'une seule étude, produite par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), et ils sont difficiles à utiliser tels quels. La cartographie du risque nucléaire n'est pas plus développée que celle du risque technologique. Elle consiste à combiner la carte des installations nucléaires de base, dont les centrales font partie, et celle des densités de population, en y portant des cercles concentriques pour représenter la diffusion radioactive.

## 3. L'action publique en matière de risques majeurs

Les formes de l'action publique ont été décrites à la section 1, et il s'agit maintenant de leur donner un contenu, en examinant le droit et la pratique administrative des risques majeurs. Parmi les mesures *ex ante*, le rapport traite surtout de l'évaluation et de la prévention. Il insiste particulièrement sur les mesures combinées *ex ante* et *ex post* (assurance et responsabilité), qui se prêtent bien au traitement analytique. Les autres mesures ne sont considérées qu'à l'occasion. Avant d'entrer dans ces matières, il parcourt chronologiquement les dispositifs légaux qui encadrent l'action publique.

### 3.1. Éléments d'histoire juridique et institutionnelle

Le cadre législatif et réglementaire applicable aux risques majeurs s'est mis en place à partir du XIX$^{e}$ siècle, pour partie – mais pour partie seulement – à la suite de catastrophes survenues. Le décret impérial de 1810, qu'une légende tenace rattache à l'explosion plus ancienne de la poudrerie de Grenelle, formule les principes, qui vont rester permanents, d'éloignement, de contrôle et d'autorisation des activités industrielles. Au travers d'une loi intermédiaire, en 1917, il en est résulté la législation actuelle des ICPE. De façon similaire, la loi de 1858, suscitée par les crues désastreuses de la Loire et du Rhône, ouvre la voie à une politique de prévention par l'endiguement et même, déjà, par la cartographie et le zonage.

Pour ces deux classes de risques, l'intervention publique a étendu son champ durant le XX$^{e}$ siècle jusqu'à couvrir toutes les formes d'action décrites plus haut. Elle trouve désormais sa place et une relative cohérence dans des régimes organisés. Les pièces maîtresses de cette unification sont la loi de 1976, déjà nommée, qui instaure les ICPE, et celle de 1982, relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles, qui répond au problème en combinant l'assurance privée avec les transferts de solidarité, suivant une formule originale d'économie mixte.

Des textes ultérieurs sont venus perfectionner chaque régime tout en les rapprochant jusqu'à un certain point. Un décret de 1977 prévoit qu'une étude de danger accompagne toute demande d'autorisation d'ICPE ; cette exigence a perduré en même temps que les règles pour constituer le document devenaient plus techniques (au point de se rapprocher aujourd'hui de méthodes probabilistes). Une loi de 1995 (dite Barnier) crée un Fonds de prévention des risques naturels majeurs et, surtout, les *plans de prévention des risques naturels*, qui sont devenus l'outil préventif essentiel de l'action publique. Une loi de 2003 (dite Bachelot) les transpose à l'autre classe avec les *plans de prévention des risques technologiques*, et elle rapproche aussi les régimes en mettant en place une assurance des catastrophes technologiques inspirée de celle des catastrophes naturelles tout en étant moins développée qu'elle.

Simultanément, des lois sur la sécurité civile réaménageaient les plans ORSEC et les règles de gestion de crise, et à cet égard, elles mettaient en place un outil préparatoire, qui est aussi partiellement de nature préventive, les *plans particuliers d'intervention* (comme les études de danger, ceux-ci portent non pas sur des territoires, mais sur des ouvrages ou établissements donnés). Des textes réglementaires sont venus fixer les principes du zonage autour des sites exposés, et cette démarche normative devait inévitablement ouvrir des conflits avec les élus locaux, rendus maîtres des permis de construire après les lois de décentralisation de 1982-1983.

La période récente a vu la transposition en droit français de plusieurs textes européens. L'un des plus importants est une directive de 2007 portant sur les inondations, qui oblige la France à établir, avant 2015, des plans de gestion des risques d'inondations à l'échelle des districts hydrographiques. Par ailleurs, la tempête Xynthia aura servi de révélateur à de multiples et coûteuses difficultés, ce qui a induit un nouveau désir de réforme. En mars 2010 à La Roche-sur-Yon, la Président de la République déclarait que « rien ne (devait) plus être comme avant en matière de prévention des catastrophes naturelles ». Cet engagement a ouvert un chantier administratif et aussi législatif : en mai 2012, le gouvernement a déposé devant le Sénat un *projet de loi portant réforme de l'indemnisation des catastrophes naturelles*. Avec l'étude d'impact qui l'accompagne, ce document est une référence indispensable, et la section suivante le mettra en parallèle avec les préconisations du rapport.

Comparé aux risques naturels et technologiques, le risque nucléaire se distingue par la forme principalement réglementaire du droit qui le régit. De fait, l'histoire de la Ve République l'a confiné longtemps dans l'orbite de l'exécutif. Le cadre légal mis en place autour du plan Messmer de 1974 faisait tomber l'évaluation et le contrôle du risque sous la responsabilité de l'industrie nucléaire, c'est-à-dire en fait de l'État, puisque c'était alors lui qui la possédait et la dirigeait. Une organisation aussi centralisée serait inintelligible si on ne la rattachait pas à l'objectif de l'indépendance nationale, qui liait le nucléaire civil, responsable de la suffisance énergétique, et le nucléaire militaire, garant de la souveraineté diplomatique.

Les transformations géopolitiques et l'évolution des mentalités ont eu raison de cette structure. Il est possible de dater le tournant de la catastrophe de Tchernobyl, dont les retombées radioactives sur le territoire national furent mal évaluées et, d'ailleurs, en partie dissimulées. Elle marque l'entrée en scène du Parlement, dont le rôle se renforcera, ainsi que des groupes, associations, médias qui captent l'opinion publique, eux aussi destinés à devenir des acteurs importants. La loi principale en la matière est celle de 2006 (dite TSN pour « transparence et sûreté nucléaire »), qui crée l'ASN en la dotant du statut d'autorité administrative indépendante. Peu auparavant, un décret avait fait naître l'IRSN, déclaré seul responsable de l'expertise sur les risques nucléaires et radiologiques. Avec la création de ces deux organismes, et l'évolution parallèle du statut des entreprises EDF et Areva, les différentes composantes de la sûreté nucléaire en France ont finalement gagné leur autonomie, à l'égard de l'administration centrale comme les unes par rapport aux autres.

### 3.2. Les mesures d'évaluation et de prévention des risques majeurs naturels et technologiques

La section 1 a dessiné les contours de l'évaluation des risques majeurs en même temps qu'elle précisait les sources techniques du rapport. Pour ce qui est des risques naturels, les deux principales sont la base de données Gaspar et le logiciel polyvalent *Cartorisques*. Ce sont des outils de connaissance, dénués de valeur réglementaire, contrairement aux plans de prévention des risques naturels (PPRN) et autres documents préventifs, qu'il faut considérer avec prudence parce qu'ils résultent d'une forme de négociation entre les parties prenantes (préfets, élus locaux, services techniques des ministères, entreprises, éventuellement associations). Quelles que soient les sources, on constate qu'elles informent sur l'aléa bien mieux que sur les enjeux et la vulnérabilité. Quant aux risques technologiques, il est encore plus difficile de les évaluer complètement, à la fois parce qu'ils sont plus diffus, étant donné le grand nombre d'ICPE, et parce que les outils de connaissance font défaut. La source d'information principale est l'étude de danger ; or celle-ci ne concerne qu'un établissement à la fois et, puisqu'elle émane de l'entreprise elle-même, elle incorpore des choix personnels même si l'administration parvient à imposer une certaine unité au genre.

Les mesures de prévention dépendent de facteurs techniques particuliers à l'aléa et aux enjeux considérés, et elles se prêtent donc mal aux généralités intéressantes. Le rapport dégage quelques traits saillants de la prévention des inondations. Traditionnellement, la prévention de l'aléa consiste à aménager par des ouvrages les cours d'eau susceptibles d'entrer en crue, mais la politique actuelle, notamment depuis les plans grands fleuves des années quatre-vingt-dix, est de les étendre au bassin versant tout entier. On crée aussi des ouvrages sur les affluents et, surtout, on se résigne à la crue, qui se diffusera dans des champs d'expansion prévus à cet effet. Les derniers travaux qui visent à protéger l'Île-de-France comportent justement, à côté de barrages et retenues, la restauration du champ d'expansion de La Bassée, au confluent de la Seine et de l'Yonne. Malheureusement, les nouvelles orientations restent souvent programmatiques, et les travaux de l'Île-de-France en sont toujours au stade de l'avant-projet bien que les études aient commencé dans le courant des années 2000.

Il n'est pas moins essentiel de réduire la vulnérabilité aux inondations que de les prévenir, et pour cela, il convient de maîtriser l'urbanisme. Les ajustements pratiques à la construction joueront un rôle comme ils l'ont toujours fait, et il est utile aussi de défendre les infrastructures de transport ou de réseau, mais *ces mesures légères ne sauraient se substituer à une politique visant à libérer des constructions les zones qui sont inondées de façon grave et récurrente*. Or, les PPRN ne jouent pas correctement leur rôle préventif, pour les raisons mêmes qui les rendaient contestables en matière d'évaluation. La Cour des comptes a démontré les vices du système après la tempête Xynthia et les inondations du Var qui ont suivi en juin 2010, et ses résultats sont corroborés par les témoignages des services techniques aux auteurs de ce rapport.

Ainsi, en matière d'inondations, la démarche préventive n'est pas à la hauteur des moyens importants que les pouvoirs publics engagent. Il est à craindre que leur action, butant sur l'obstacle en matière de vulnérabilité, ne se déséquilibre en recherchant des mesures de plus en plus coûteuses, même si elles sont bien inspirées, pour diminuer l'aléa. Comme les contraintes budgétaires empêcheront que celles-ci aboutissent dans des délais acceptables, la politique de prévention est bien plus incertaine que ce qu'un bilan officiel suggérerait.

### 3.3. L'indemnisation des dommages et l'assurance en matière de risques naturels

Le rapport développe longuement le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles, à la fois pour l'intérêt qu'il présente et en raison de l'actualité de sa réforme. Il est à la charnière de l'assurance obligatoire et de l'assurance facultative. Aucune obligation ne s'impose à celui – personne physique ou morale – qui ne souscrit pas d'assurance contre les dommages aux biens, mais dans le cas contraire, l'assuré doit souscrire une garantie supplémentaire portant sur les catastrophes naturelles, et l'assureur est tenu

de la lui fournir. La garantie supplémentaire donne lieu à une surprime, qui est assise sur la prime du contrat de base avec un taux uniforme sur tout le territoire (soit 12 % pour un contrat multirisques habitation ou entreprise, et 6 % pour un contrat véhicule terrestre à moteur). En imposant l'unicité de la surprime en sus de l'obligation précédente, le législateur a voulu recourir à la solidarité nationale. Comme les contrats de base sont largement souscrits, le grand nombre des citoyens participe à la réparation des dommages, et chacun d'entre eux s'acquitte d'un montant qu'on peut supposer croissant avec sa richesse (la valeur des biens assurés en est un indice grossier).

La justification théorique de la solidarité tient dans la répartition inégale des catastrophes naturelles à la fois dans le temps et dans l'espace, qui les rendraient *inassurables par les compagnies* (ou, tout à moins, assurables par elles moyennant des primes exorbitantes). Le Code des assurances mentionne aujourd'hui le critère de non-assurabilité que la loi de 1982 ignorait. Son rôle n'est en effet devenu évident que par la pratique ultérieure. Il est, plus précisément, un apport jurisprudentiel de la commission chargée de statuer sur les déclarations de catastrophe naturelle (cette commission, qui est interministérielle et présidée par un représentant du ministère de l'Intérieur, examine les demandes des communes qui se considèrent sinistrées). Grâce au critère, les pouvoirs publics ont pu limiter la propension du régime à s'étendre, en équilibrant les demandes des victimes de phénomènes naturels, toujours promptes à se prévaloir d'une catastrophe, et celles des assureurs, qui préfèrent maintenir certains risques dans leurs contrats de base. Les contraintes budgétaires, liées à un trait du régime exposé plus bas, ont aussi joué dans un sens restrictif. Comme évolution principale, les retraits et gonflements des argiles sont entrés dans le régime en 1989, à la suite des sécheresses exceptionnelles de ce moment. La frontière avec les risques naturels ordinaires est restée stable ensuite, et notamment, malgré certaines pressions, les incendies et les risques de tempête, grêle et neige n'ont pas quitté la dernière classe de risques.

Le dernier principe fondamental du régime veut que l'État le soutienne, mais indirectement. Son influence transite par la Caisse centrale de réassurance (CCR), société anonyme dont il est actionnaire à 100 %. Cet organisme propose aux assureurs privés des contrats de réassurance avantageux, et il a cette faculté parce que l'État le garantit par une convention spéciale. La CCR peut solliciter son intervention financière dès lors que 90 % des provisions d'égalisation et réserves spéciales qu'elle a constituées au titre des catastrophes naturelles deviennent nécessaires pour qu'elle indemnise une année de sinistres. Les assureurs ont la possibilité légale de se tourner vers d'autres sociétés de réassurance que la CCR, mais en pratique, ils le font rarement. Parce qu'elle est à leur contact effectif tout en étant liée aux pouvoirs publics, elle apparaît comme la pierre angulaire du régime d'indemnisation.

Tous ces caractères pris ensemble font du régime *un cas d'école de l'économie mixte*. Les législateurs de 1982, et en particulier le rapporteur Alain Richard, l'avaient explicitement conçu comme tel. Ils firent valoir

qu'une collaboration du public et du privé serait plus fructueuse qu'un laisser-faire intégral (jugé insuffisant à cause de la taille du risque) et que la pure intervention (d'abord privilégiée, sous la forme d'un fonds d'indemnisation dévolu, puis écartée comme étant trop coûteuse). Les critiques dont le régime fait l'objet reviennent à nier la pertinence de la combinaison, en affirmant qu'elle ne réalise entièrement ni la redistribution (des subventions financées par l'impôt iraient plus loin), ni l'efficacité allocative (le marché de l'assurance laissé à lui-même provoquerait de meilleures incitations). À ceux qui appuient ces critiques par l'analyse économique, on objectera que celle-ci ne s'applique pas mécaniquement, car le régime ne doit pas être évalué au sens de l'optimalité première (*first best*), mais seconde (*second best*). Pour le dire en termes plus intuitifs, il vise à établir un compromis entre des exigences contradictoires, ce qui suffit à expliquer qu'il n'en réalise aucune intégralement.

Tout en défendant le régime dans son principe intellectuel, le rapport en souligne certains défauts de fonctionnement, qui le conduisent, dans la section suivante, à en proposer la réforme. Voici, très sommairement, les faiblesses à considérer :

- le critère d'assurabilité manque de solidité théorique et il n'est pas clairement explicité. Il semble avoir fonctionné dans le passé de manière quelque peu opportuniste, tantôt pour étendre les frontières du régime (en incluant les retraits et gonflements des argiles, ce qui était contestable), tantôt pour les consolider (en excluant les tempêtes métropolitaines de grande ampleur, ce qui était aussi contestable). Il faut cependant mettre ce flottement au regard des avantages que présente la construction jurisprudentielle du critère par la commission interministérielle ;
- le régime n'encourage pas activement la prévention, alors que le choix d'un système d'assurance, plutôt que d'indemnisation après coup, vise en principe à la renforcer. Deux raisons contribuent à cet état de fait : l'uniformité légale de la surprime et celle, en pratique, de la prime de base, car si les assureurs ont le pouvoir de la moduler en fonction du risque, ils n'en font guère usage. Il manque au système une *incitation par les prix*, et comme les valeurs absolues sont très faibles au moins pour la surprime (en moyenne, 17 euros pour un particulier, 138 euros pour une entreprise), le régime offre de la marge pour l'introduire sans rompre avec le principe de solidarité. Cette considération, qui n'est pas nouvelle, a conduit les pouvoirs publics à instaurer un mécanisme différencié de franchise en cas de sinistre. Une commune qui n'est toujours pas dotée d'un plan de prévention des risques naturels et qui donne lieu à une succession d'arrêtés de catastrophes naturelles verra la franchise applicable aux indemnisations des habitants croître avec le nombre d'arrêtés. Le bilan de ce dispositif montre qu'il n'a pas eu l'influence désirée, de sorte que le problème incitatif du régime – son vrai talon d'Achille – est à reprendre ;

- l'équilibre financier du régime est aussi en question. Il repose sur la garantie de l'État à la CCR, qui lui permet d'offrir des contrats avantageux, ce qui se répercute in fine dans le faible niveau des surprimes. Le régime fonctionne à moindre coût pour toutes les parties – les assurés, les assureurs, le réassureur et l'État lui-même – aussi longtemps que la garantie n'est pas appelée, mais si elle devait l'être, la charge budgétaire pourrait s'avérer insoutenable. Il est vrai que la CCR n'a mis la garantie en œuvre qu'une fois (en 2000, pour 263 millions d'euros, à la suite des inondations de 1999), mais elle a été près de le faire une autre fois (en 2003, pour faire face à l'aléa de retraits et gonflements des argiles), et la tendance historique est à la multiplication des catastrophes naturelles, sous l'influence du réchauffement climatique et pour d'autres raisons que la section 2 évoque. Le comportement vertueux du régime dans le passé ne préjuge donc pas de ce qu'il deviendra. *Ces considérations financières tendent à montrer, comme les raisonnements incitatifs précédents, qu'il s'est peut-être déséquilibré en faveur de la solidarité et aux dépens de l'assurance proprement dite* ;
- le régime est affaibli par la persistance de transferts *ex post* multiples. Une doctrine ancienne veut que l'État soit son propre assureur. Sous son influence, et aussi parce que le marché ne répondrait pas toujours à la demande, une fraction seulement des biens de l'État central et des collectivités territoriales se trouve assurée. La réparation repose alors sur des transferts *ex post*. Avec moins de justification, l'État central et les collectivités territoriales ne se font pas faute d'offrir des aides *ex post* quand bien même les victimes sont assurées et que le régime a joué son rôle. La Cour des comptes a dénoncé le gâchis redistributif qui a suivi les événements de l'année 2010. L'objection, ici, ne porte pas contre le régime, mais contre les pouvoirs publics, qui l'affaiblissent en lui juxtaposant un système contradictoire avec ses objectifs d'assurance et de prévention.

### 3.4. L'indemnisation des dommages et l'assurance en matière de risques technologiques

L'indemnisation des risques technologiques relève de la responsabilité privée de l'exploitant, ce qui la sépare entièrement de celle des risques naturels, où cette considération n'intervient pas. Suivant une orientation constante de la loi française, la présence d'un établissement dangereux ou nuisible n'est pas une raison suffisante pour que les populations en désertent le voisinage, et c'est à l'exploitant d'assumer toutes les conséquences de son activité, voire, dans certains cas extrêmes, de quitter les lieux. Les populations peuvent avoir été présentes dès le début ou au contraire s'être installées après l'exploitant, cela ne fait pas de différence. En cas d'accident, la responsabilité de l'exploitant est donc intégrale, et elle s'aggrave encore lorsque les tribunaux la conçoivent comme une responsabilité objective ou sans faute.

Le législateur est intervenu pour améliorer un régime qui, en raison de la charge écrasante imposée à l'exploitant, fait douter qu'il parvienne toujours à réparer les dommages. À première vue, trois moyens d'action s'offrent aux pouvoirs publics : ils peuvent soit participer directement à l'indemnisation, soit contraindre ou inciter les exploitants à rester solvables, soit organiser, en faveur des victimes, une couverture d'assurance contre la défaillance des exploitants. La première solution a été écartée comme représentant une injustice à l'égard du contribuable, la deuxième n'a pas été considérée, et le législateur a retenu la troisième en créant un régime d'indemnisation des catastrophes technologiques. Celui-ci ne vise pas à se substituer à l'industriel responsable, mais seulement à en prévenir l'insolvabilité ou la non-identification, tout en anticipant l'indemnisation alors que les procédures judiciaires suivent leur cours. Le régime se calque partiellement sur celui des catastrophes naturelles : tout contrat d'assurance dommages aux biens souscrit par un particulier se voit adjoindre un contrat supplémentaire obligatoire, qui est associé à une surprime non encadrée, en pratique de montant faible, et qui demande une constatation officielle pour prendre effet. L'État n'engage pas sa garantie, ce qui fait une différence avec l'autre régime. En outre, l'articulation des deux régimes avec les plans de prévention correspondants – PPRN et PPRT – est plus étroite dans le cas des catastrophes naturelles que dans celui des catastrophes technologiques.

Le régime paraît bien conçu même s'il n'a guère été mis à l'épreuve jusqu'à présent, et s'il mérite un reproche, c'est probablement celui de la modestie excessive de ses ambitions.

### 3.5. Le régime d'assurance du risque nucléaire

Parmi les différentes formes d'action publique sur le risque nucléaire, seule l'assurance continue aujourd'hui à relever de dispositions qui datent des premiers temps de l'usage industriel de l'atome. Le régime spécifique de responsabilité civile sur lequel reposent ces dispositions est aussi resté en vigueur. La Convention de Paris, signée en 1960, fait porter sur le seul exploitant la responsabilité des dommages créés par un accident survenu dans son installation ou en rapport avec elle (comme dans un accident de transport). De manière cohérente avec ce choix de « canaliser » la responsabilité, la Convention a retenu pour celle-ci une interprétation par la *responsabilité sans faute*, et elle a suivi la pratique du droit lorsque cette interprétation a cours, en créant un plafond de responsabilité ainsi qu'une obligation d'assurance jusqu'à ce plafond. L'État signataire devient responsable au-delà du plafond, qu'il a la faculté d'augmenter. La Convention complémentaire de Bruxelles en 1963 a introduit un système à quatre tranches au lieu de deux : la première, sous le plafond, incombe à l'exploitant, la deuxième à l'État national, la troisième aux États signataires solidairement, et la quatrième, sans limite, de nouveau à l'exploitant (mais en pratique, suivant sa solvabilité, à l'État national aussi).

Un protocole est venu récemment actualiser les montants financiers du dispositif : 700 millions pour la première tranche, 500 millions supplémentaires pour la deuxième, et 300 millions supplémentaires pour la troisième. Regrettablement, le protocole n'est toujours pas ratifié, et l'attentisme des États fait craindre que les tranches restent pour longtemps fixées aux valeurs anciennes, qui sont parfaitement désuètes même dans l'hypothèse d'un accident nucléaire de gravité modérée.

## 4. Conclusions et préconisations

En s'appuyant sur les résultats partiels des précédentes, la dernière section énonce les conclusions d'ensemble sur l'action publique. Chacune s'accompagne de préconisations qui ne seront présentées ici qu'en résumé sommaire.

S'agissant de *l'évaluation des risques*, le rapport se montre critique. Les risques naturels ont préoccupé l'État de longue date, mais l'abondance des moyens qu'il a prévus s'est accompagnée d'un certain désordre. Le tableau 9 du rapport fait voir que trop de sources et de méthodes sont en concurrence pour suivre un même aléa. Il en résulte des jugements hétérogènes et malgré tout incomplets, car certaines parties du territoire échappent toujours à l'évaluation du risque. En outre, comme il a été dit, celle-ci reste concentrée sur l'aléa aux dépens des enjeux et de la vulnérabilité. Elle devrait culminer dans une cartographie exhaustive, à la fois territorialement et suivant les trois dimensions pertinentes, mais on est loin du compte, y compris même pour les deux risques naturels les mieux étudiés, qui sont les inondations et submersions marines, d'une part, les retraits et gonflements des argiles, d'autre part. Cette conclusion paraît d'autant plus décevante que la France dispose d'équipes et d'équipements d'un niveau technique impressionnant, que l'on considère l'administration, les opérateurs de l'État ou le secteur de l'assurance et de la réassurance.

Les *recommandations 1 et 2* visent à corriger le décousu de l'évaluation des risques naturels en mobilisant mieux ces moyens. Elles font aussi écho à un principe devenu classique dans les projets de réforme administrative, qui est la séparation institutionnelle de l'évaluateur et du gestionnaire. Le traitement actuel du risque nucléaire donne le ton, car la constitution de l'IRSN et de l'ASN en entités indépendantes constitue un précédent favorable que les auteurs du rapport jugent possible de transposer. Ils proposent donc de *créer, au sein de l'administration de l'environnement, un pôle d'évaluation des risques naturels qui soit clairement séparé des instances de gestion*. Le pôle comprendrait un *niveau central* et un *niveau régional*, celui-ci coordonnant le travail, aujourd'hui dispersé, de diagnostic et de cartographie sur le terrain. Il serait en outre amené à juger des mesures de prévention, telles qu'elles sont décidées par les instances de gestion. Simultanément, il se mettrait en place un *réseau de partage des données* entre le pôle et les organismes qui participent à l'évaluation (Météo France, BRGM, CCR, Observatoire des risques naturels, etc.).

Par rapport aux risques naturels, les risques technologiques souffrent, comme il a été indiqué, d'un certain déficit de connaissance pure : les sources disponibles, qui sont les études de danger, la documentation sur les ICPE réunie par le ministère et les plans de prévention des risques technologiques (PPRT), relèvent en fait de la gestion du risque. Par ailleurs, les sources en question, locales par nature, ne répondent pas immédiatement au besoin d'une évaluation nationale ou même régionale. Un travail important reste donc à effectuer pour faire monter l'évaluation des risques technologiques au niveau où se trouve déjà – malgré ses limites – l'évaluation des risques naturels, et il s'accomplira d'autant plus efficacement que les mêmes principes seront appliqués. En conséquence, dans les *recommandations 3 et 4*, les auteurs proposent de *créer un pôle d'évaluation des risques technologiques qui soit clairement séparé des instances gestionnaires*, comprenant un *niveau central* et un *niveau régional*, chargé en outre de juger de la réalité des mesures de prévention. Comme précédemment, un *réseau de partage des données* mettrait le pôle en relation avec les organismes pertinents (INERIS, BRGM, etc.) et l'inspection des ICPE, dont le travail approfondi se verrait ainsi valorisé.

Si l'évaluation des risques nucléaires peut sembler critiquable, ce n'est certes pas en raison des moyens de connaissance mis à sa disposition, car l'expertise scientifique et technologique est d'un niveau remarquable, mais pour des raisons qui forcent à remonter aux principes mêmes de la doctrine française de sûreté. On a vu qu'elle reposait sur un concept de la défense en profondeur qui vise à neutraliser le risque. Mais cet idéal est impossible à réaliser, parce que la défense en profondeur est effectivement calibrée par rapport à certains accidents, et non pas à d'autres. La liste des accidents à considérer s'allonge après chaque catastrophe, et celle de Fukushima aura été particulièrement instructive. Elle a montré que des événements défavorables pouvaient se cumuler dans la centrale au point que les marges de sûreté coutumières soient massivement dépassées et que toutes les lignes de défense se trouvent rompues d'un seul coup (ainsi, l'entreprise TEPCO n'avait pas envisagé que les systèmes d'alimentation électrique de secours tomberaient en même temps que les systèmes principaux). À la suite de l'accident japonais, les centrales françaises ont été soumises à des tests de résistance et à des évaluations complémentaires de sûreté qui ont déjà eu des effets sur la doctrine, mais il conviendrait qu'allant plus loin, elle fasse une place entière au point de vue probabiliste. Comme accident grave n'est de probabilité négligeable, la question est de peser cette probabilité avec les coûts (suivant la règle de l'espérance mathématique ou toute autre). Dans les *recommandations 5 et 6*, les auteurs proposent *de poursuivre dans la direction probabiliste la révision de la doctrine de sûreté nucléaire, d'étendre les évaluations probabilistes de sûreté (EPS) aux événements extérieurs à la centrale et à un catalogue plus vaste de scénarios d'accidents, de parvenir enfin à une évaluation plus satisfaisante des dommages dus à un accident majeur*. Contrairement aux précédentes, ces préconisations ne s'adressent pas directement aux pouvoirs publics, mais aux évaluateurs et les contrôleurs du risque à l'IRSN, à l'ASN et chez les exploitants.

S'agissant de *la prévention des risques*, le rapport se montre aussi critique. Il a souligné que les plans de prévention des risques naturels (PPRN) étaient l'instrument principal de la prévention des risques naturels et il en a dit les faiblesses. Elles tiennent non seulement à la manière exagérément politique dont il est appliqué, mais à certaines limites propres à sa conception. Les PPRN sont d'abord tournés vers la préservation des vies humaines, et ils n'appréhendent l'urbanisme que de manière indirecte et incomplète. Non seulement ils sont trop tolérants à l'égard des constructions à venir, mais ils ne s'intéressent guère au bâti existant, et ils laissent par-là échapper tout un volet de la prévention (relatif en fait à la vulnérabilité, qui se trouve une fois de plus négligée). Il leur manque aussi l'apport du calcul économique, par lequel il serait possible de peser les avantages d'une implantation risquée avec ses coûts en cas d'accident. La *recommandation 8*, qui s'enchaîne sur ce diagnostic sévère, est *d'engager une réforme approfondie des plans de prévention des risques d'inondation* (PPRI, cas particuliers de PPRN) ; celle-ci devrait être menée dès 2015 en lien avec l'application – imposée – de la directive européenne sur les inondations. Complémentairement, les auteurs proposent, dans la *recommandation 9*, de *créer, au sein de l'administration de l'environnement, une inspection des risques naturels majeurs* qui aurait la charge de vérifier que les PPRN se conforment à l'évaluation du risque par l'entité indépendante et que les mesures de prévention qu'ils demandent aient trouvé une suite effective.

En matière de risques technologiques, l'inspection des ICPE joue un rôle préventif essentiel qui devrait être renforcé, alors même que ses effectifs stagnent depuis la maintenant lointaine catastrophe AZF. Dans la *recommandation 8*, les auteurs demandent *un accroissement des effectifs de l'inspection des ICPE, qui accompagnerait une extension de son rôle*. Elle se verrait chargée de participer encore plus activement à la préparation des plans de prévention des risques technologiques (PPRT) et de vérifier que leurs mesures préventives soient effectivement réalisées.

S'agissant de *l'assurance des risques majeurs*, le rapport combine la critique et l'approbation. Il se propose d'accompagner la réforme en cours du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles, et il expose donc ses préconisations dans ce domaine en faisant référence au projet de loi de mai 2012, que la section précédente avait mentionné sans commentaire.

La définition aujourd'hui en vigueur des catastrophes naturelles est « à péril non dénommé », c'est-à-dire qu'elle repose sur des critères abstraits. Le projet la remplace par une définition « à péril dénommé » sous la forme d'une liste d'aléas fixée par un décret en Conseil d'État. Malgré la fragilité reconnue des critères, les auteurs préfèrent maintenir le genre de la définition actuelle, quitte à en réviser très légèrement le texte(*). La jurisprudence

(*) Le Code des assurances indique : « La présente assurance a pour objet de garantir à l'assuré la réparation pécuniaire des dommages matériels directs non assurables à l'ensemble des biens garantis par le contrat ayant eu pour cause déterminante l'intensité anormale d'un agent naturel, lorsque les mesures habituelles à prendre pour prévenir ces dommages n'ont pu empêcher leur survenance ou n'ont pu être prises » (chapitre V, article annexe I art. A-125-1). On proposerait que l'« intensité anormale » qualifie les dommages provoqués par l'agent naturel au lieu de l'agent lui-même.

de la commission des catastrophes naturelles peut s'ajuster aux données scientifiques et techniques bien mieux qu'une liste explicite, même révisable. De plus, la commission a su tenir compte – en 2003 notamment – de la contrainte budgétaire, alors qu'une liste ouvrirait des droits à indemnité sans considération de leur coût. La *recommandation 10* entérine donc *le maintien de la définition « à péril non dénommé* ». En revanche, elle endosse *deux innovations utiles du projet* : il déchoit du bénéfice de la garantie ceux qui construisent sur un terrain déclaré inconstructible par un PPRN et il lève l'obligation, faite aux assurés qui ont vu détruire un bien immobilier, de consacrer l'indemnité d'assurance à la reconstruction sur place.

La faiblesse des incitations préventives est, on l'a dit, le talon d'Achille du régime. En dehors d'un risque naturel qu'il traite à fond, celui des retraits et gonflements des argiles, le projet manque ici d'audace. Il propose que les compagnies d'assurance ajustent la surprime entre certaines limites (fixées à nouveau par un décret en Conseil d'État), mais il limite cette disposition aux collectivités territoriales et aux entreprises, à partir d'un certain montant de capitaux assurés. Il ne touche pas à l'assiette de la surprime, constituée par la prime de base, et il ne cherche pas à moduler la franchise des assurés plus que ne le permet le système existant. La *recommandation 11* pousse la réforme dans ces différentes directions. Les auteurs demandent que *les compagnies puissent ajuster la surprime des particuliers aussi, que les capitaux assurés lui servent autant que possible d'assiette, et que la franchise des assurés s'élève dans les communes qui ont fait l'objet d'arrêtés de catastrophe naturelle multiples, du moment qu'elles n'ont pas de PPRN approuvé ou n'ont pas effectué les travaux préventifs requis par leurs PPRN.*

Le projet comporte des innovations appréciables en ce qui concerne les retraits et gonflements des argiles. Il vise à restreindre le bénéfice de la garantie aux dommages qui compromettent la solidité des constructions, alors que le régime a dérivé, dans les années 2000, jusqu'au point d'indemniser de simples dégâts esthétiques. Il vise aussi à préserver le régime en faisant jouer autant qu'il se peut la garantie décennale du constructeur. Dans la *recommandation 12*, les auteurs endossent *les exclusions de garantie proposées*, et ils reprennent une autre disposition du projet, qui consiste à *donner valeur légale au zonage des retraits et gonflements des argiles et à rendre obligatoires, pour toute construction nouvelle, une étude du sol ou des mesures préventives par défaut.*

Les aides distribuées *ex post* n'entraient pas dans le champ du projet de loi, et il en faudrait un autre pour y mettre fin ou, du moins, les limiter rigoureusement. Tous les régimes d'assurance butent sur le problème des mauvaises incitations – l'aléa moral de la théorie économique – et celui des catastrophes naturelles ne fait pas exception, mais comme le rapport l'a souligné, les aides en question viennent encore l'aggraver. L'inefficacité allocative se double d'une forme caractérisée d'injustice, puisque la bienfaisance de l'État et des collectivités territoriales est irrégulière selon le lieu et le moment. C'est outre-mer que les effets sont le plus perceptibles :

largement sous-assurée, la population semble anticiper l'intervention réparatrice (la littérature économique parle ici d'un « aléa de charité »). Dans la *recommandation 13,* les auteurs en appellent donc à *un projet de loi qui limiterait strictement la redistribution menée en parallèle au régime,* tout en favorisant, par des mesures incitatives aussi, un taux d'assurance plus élevé dans les DOM.

Le rapport n'a émis qu'une critique à l'endroit du régime d'indemnisation des catastrophes technologiques – son manque d'ambition. Sans doute l'assurance est-elle ici contrainte par la responsabilité de l'exploitant, pierre angulaire du droit civil, mais il semble possible et souhaitable d'en étendre le champ tout en respectant cette limite. Les entreprises pourraient bénéficier du versement par anticipation des indemnités que la loi réserve aux particuliers, et il serait concevable que celles-ci, actuellement limitées à l'habitation principale, couvrent plus largement les biens et même les personnes. Les auteurs consacrent donc la *recommandation 14* à *une extension mesurée du régime d'indemnisation des catastrophes technologiques.*

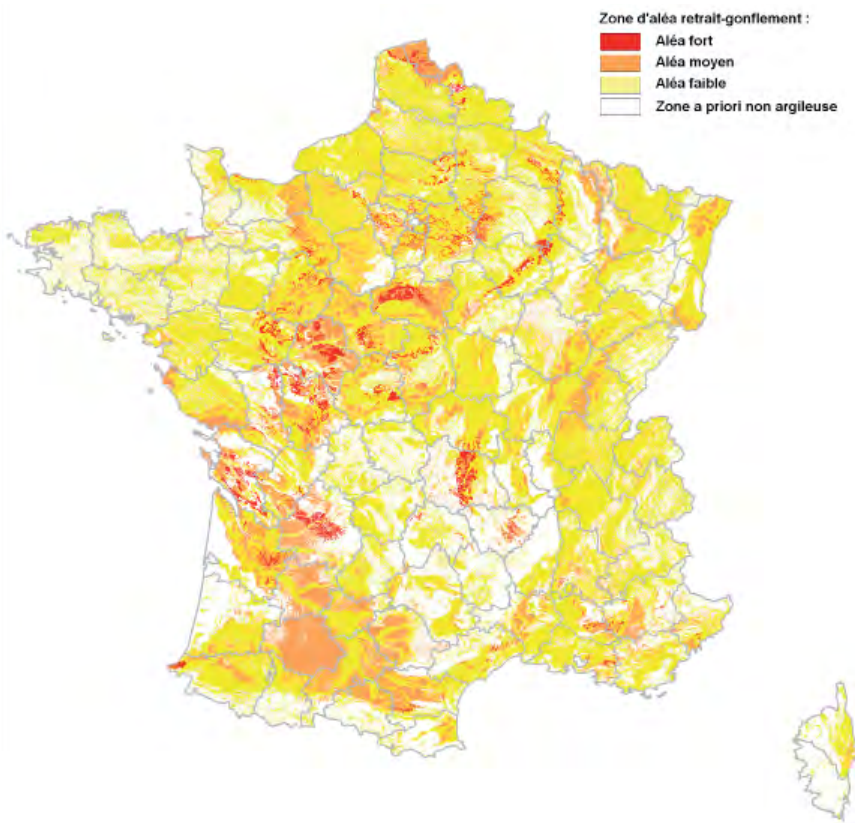
Il est impossible de prédire les montants et les modalités d'indemnisation qui accompagneraient un accident nucléaire catastrophique (au niveau de Tchernobyl ou de Fukushima) ou même simplement grave (au niveau de Three Miles Islands). Mais il est certain que les finances publiques seraient impliquées à des hauteurs inouïes, l'État jouant son rôle d'assureur de dernier ressort. En guise de palliatif, les auteurs envisagent, dans la *recommandation 15*, soit *d'élever le plafond de responsabilité des industriels du nucléaire*, sans attendre la ratification du nouveau régime international d'assurance, soit *de créer un fonds de provisionnement abondé par les industriels et destiné à couvrir une partie du coût d'un accident.*

## 1. Exposition à l'aléa inondations : contours des zones inondables liées aux fleuves et cours d'eau en 2010

*Notes* : Les contours numérisés ne représentent pas intégralement les zones inondables par fleuves et cours d'eau, et ils ne prennent pas en compte les autres types d'inondations. Échelle au 1/25 000e.

*Source* : Service de l'observation et des statistiques du ministère du Développement durable, 2010. D'après Cartorisque et les atlas des zones inondables disponibles au 1er janvier 2010.

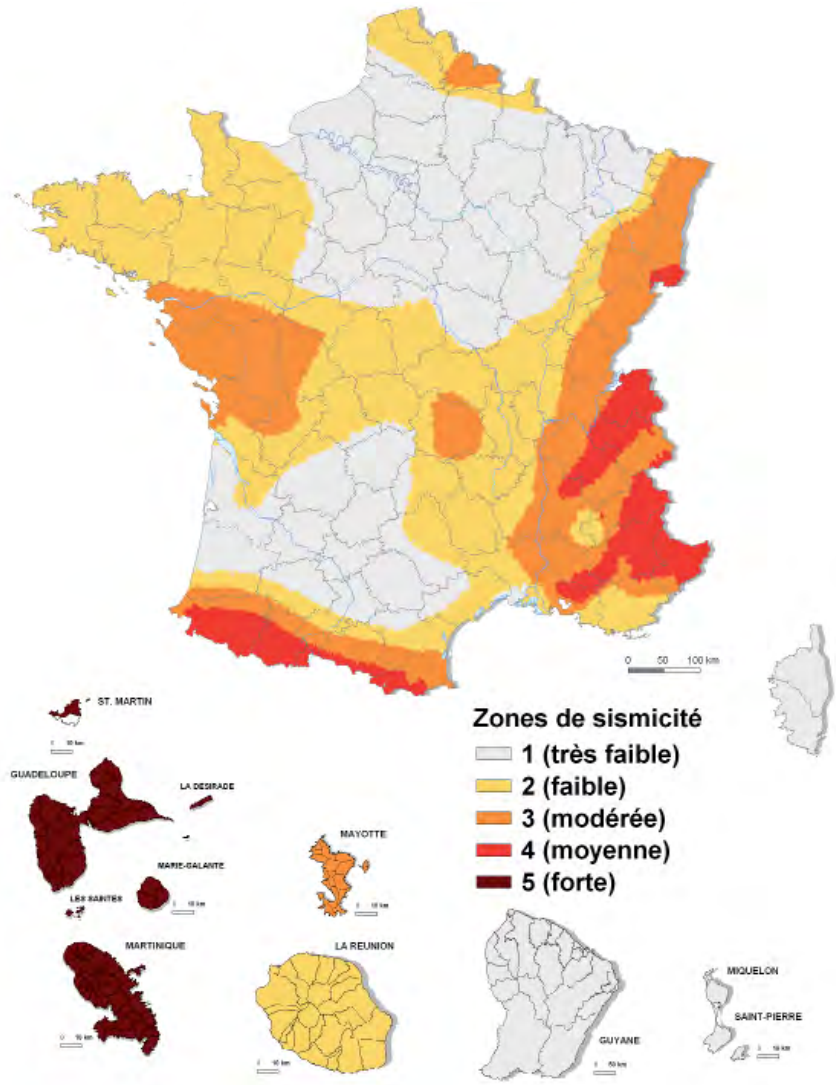
## 2. Exposition à l'aléa retraits et gonflements des argiles en 2010




*Sources* : BGRM et CCR (2010).

## 3. Exposition à l'aléa sismique en 2010

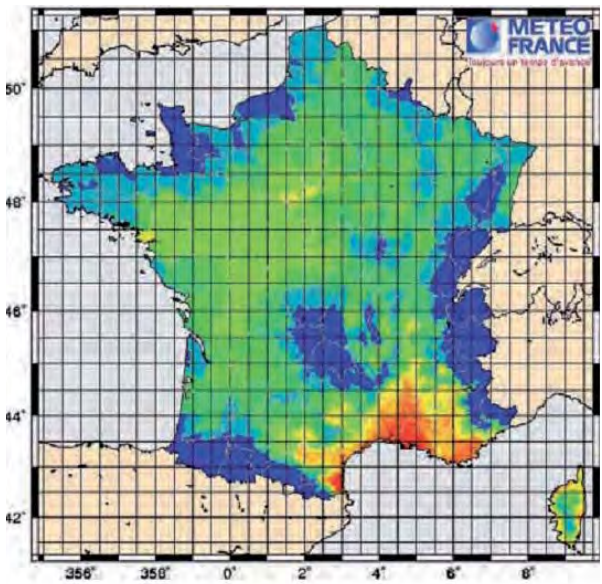
(zonage sismique en vigueur depuis le 1er mai 2011 ; art. D. 563-8-1 du Code de l'environnement)



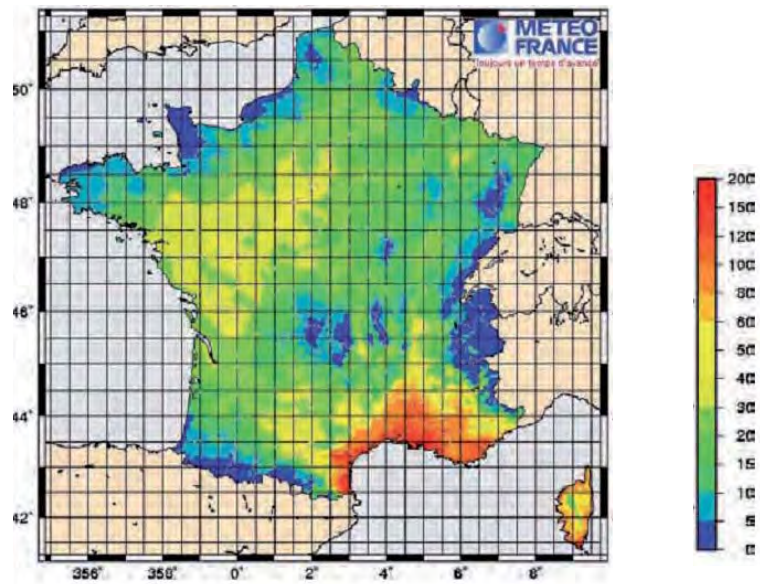

*Source* : Ministère du Développement durable (2011).

## 4. Exposition à l'aléa feux de forêts : nombre annuel moyen de jours avec risque d'incendie

**a. 1961-1980**



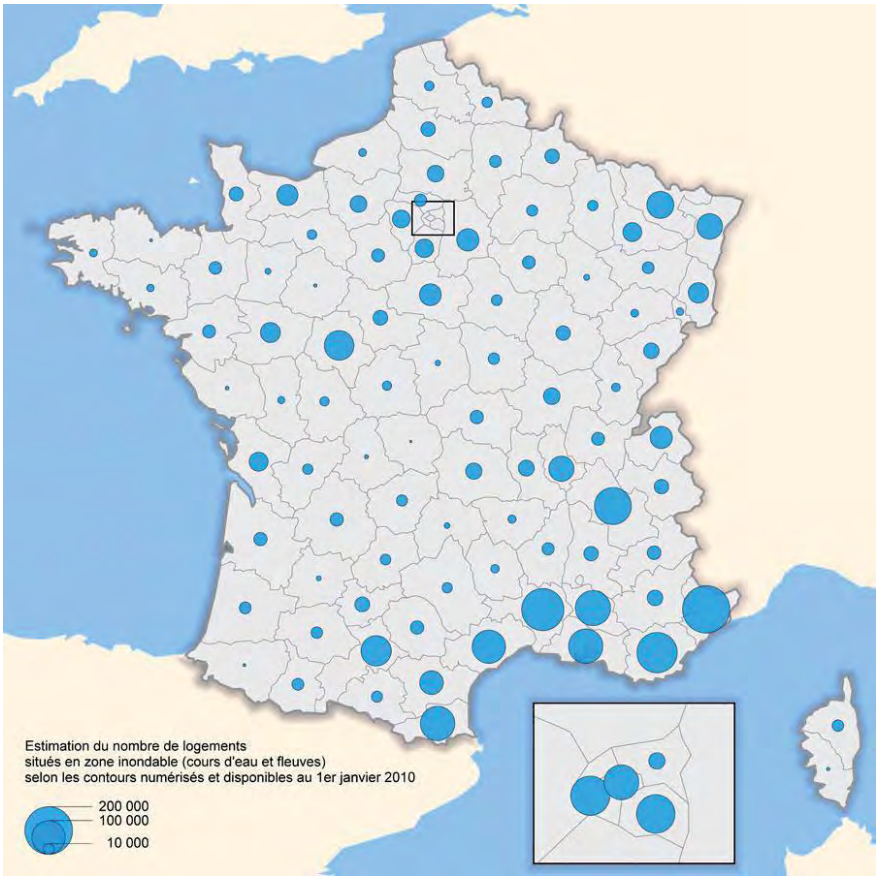

**b. 1989-2008**




*Note* : Un jour comporte un risque d'incendie si l'indice forêt météo est supérieur à 20.

*Source* : Météo-France (2009).

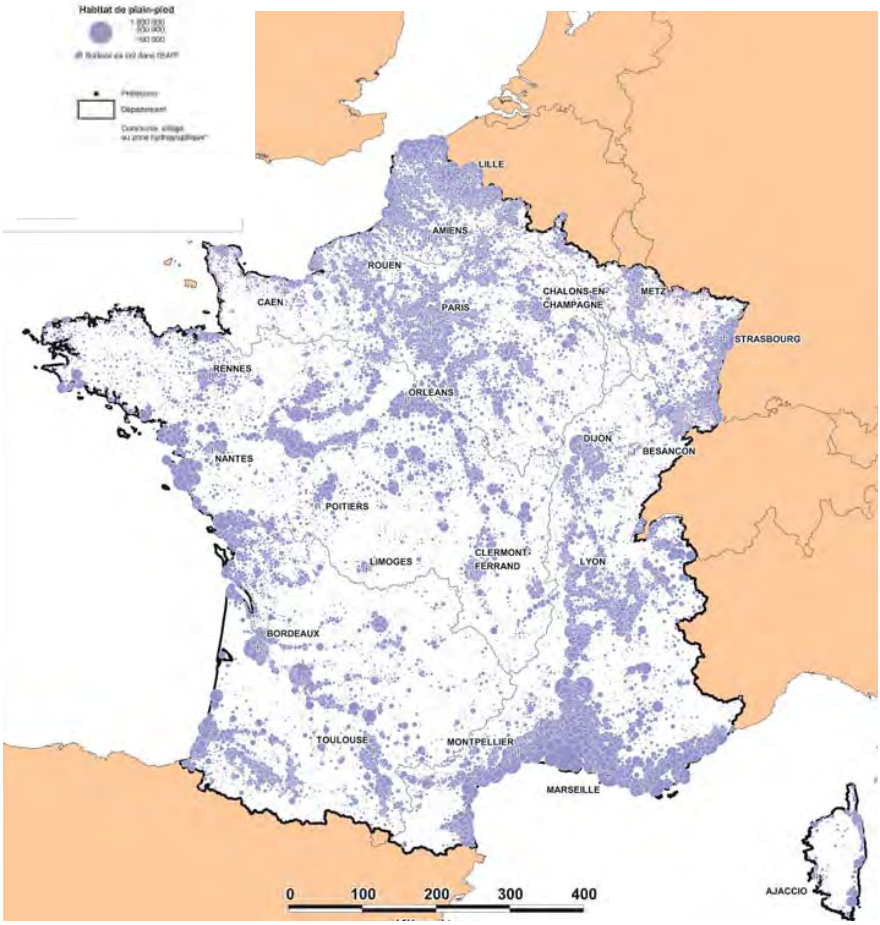
## 5. Nombre de logements exposés au risque inondations : estimation du nombre de logements situés en zone inondable en 2010

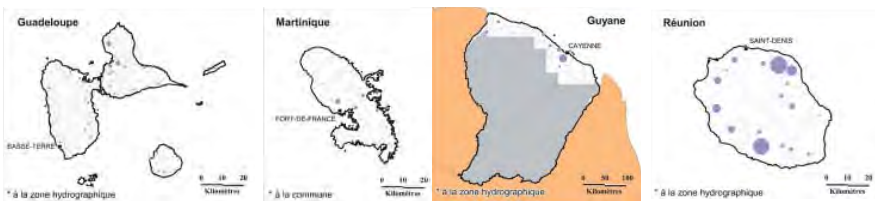


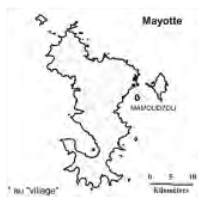

*Notes* : Le nombre des logements en zones inondables est estimé à partir des contours numérisés des zones inondables, de sorte que les réserves indiquées sous la carte 1 s'appliquent.

*Source* : Service de l'observation et des statistiques du ministère du Développement durable (2010). D'après la base de données Cartorisque au 1er janvier 2010, UE-SOeS, CORINE Land Cover (2006), IGN, BD Carto® occupation des sols, 2000, INSEE, RP (2006) et Contours IRIS (1999).

## 6. Nombre et vulnérabilité des logements exposés aux inondations : exposition de l'habitat de plain-pied aux cours d'eau en 2012

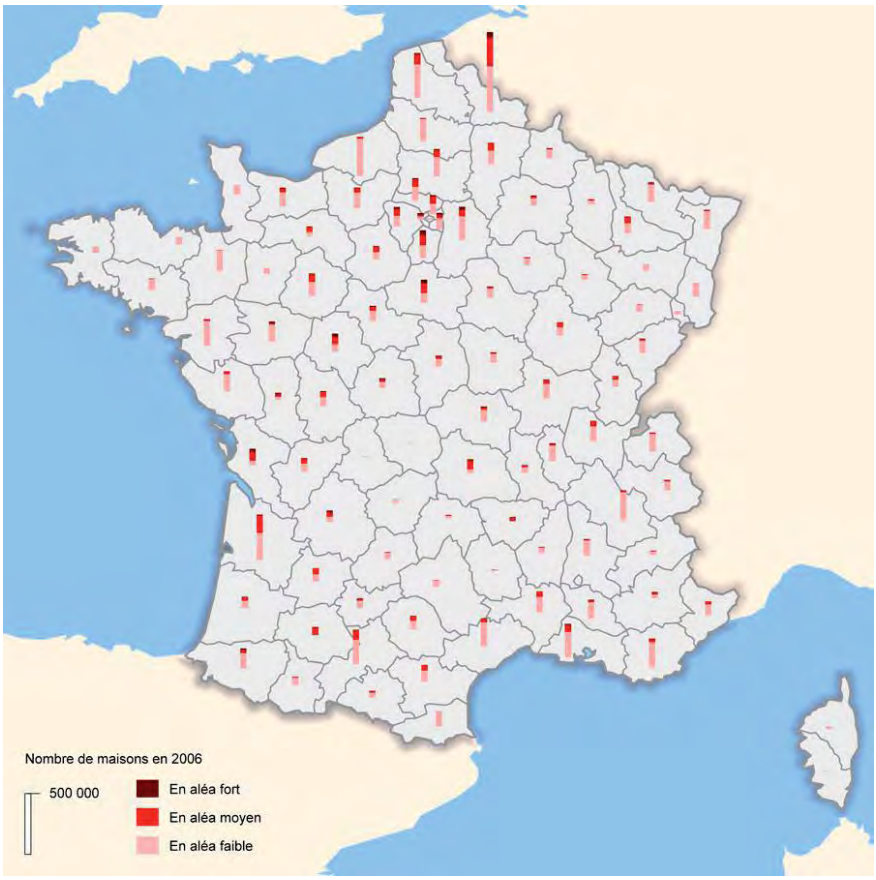


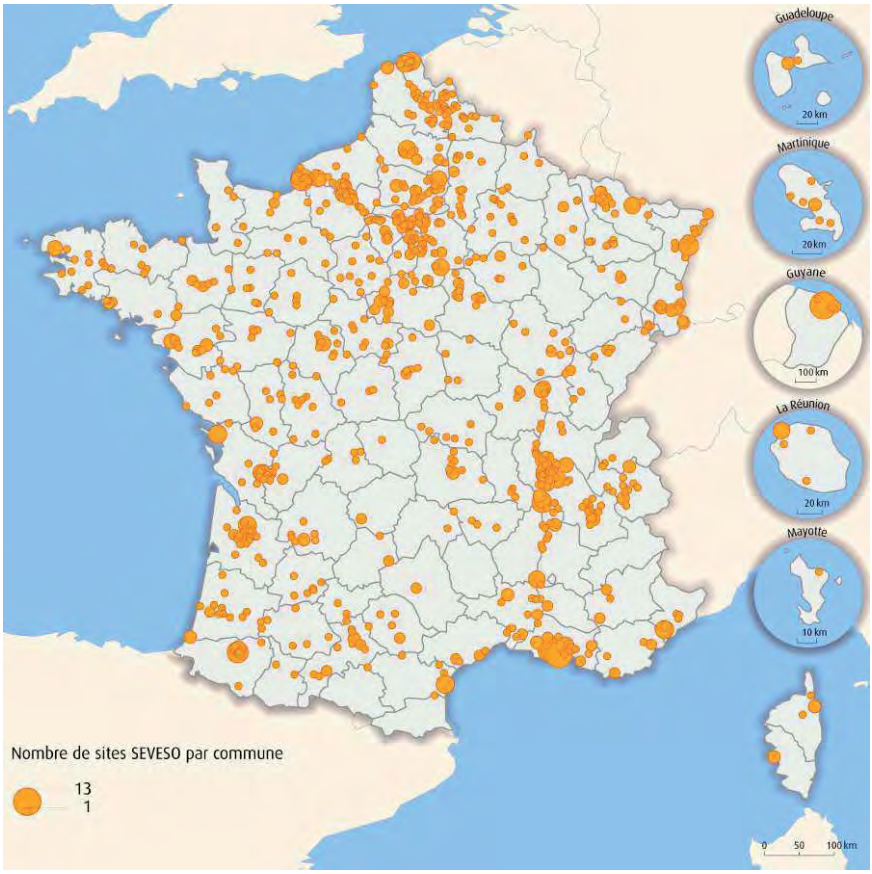

*Sources* : Ministère du Développement durable (2012) et Direction générale de la prévention des risques, CETE Méditerranée (mai 2012).

## 7. Logements individuels exposés aux retraits et gonflements des argiles en 2008




*Source* : Service de l'observation et des statistiques du ministère du Développement durable (2010). D'après BRGM, aléa retraits et gonflements des argiles (2008), UE-SOeS, CORINE Land Cover, (2006), IGN, BD Carto® occupation des sols (2000), INSEE, RP (2006) et Contours IRIS (1999).

## 8. Les établissements Seveso : répartition communale des seuils hauts et des seuils bas en 2012

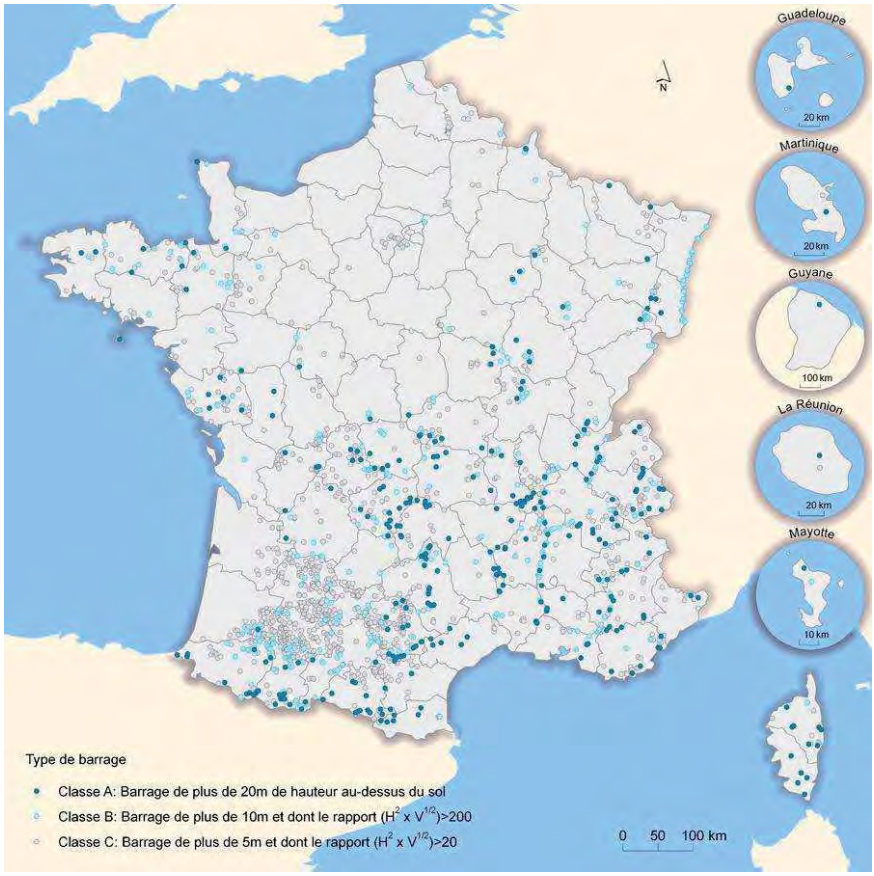



*Source* : Service de l'observation et des statistiques du ministère du Développement durable (juillet 2012).

## 9. Exposition à l'aléa minier : mines faisant ou ayant fait l'objet d'une exploitation en 2010

*Source* : Service de l'observation et des statistiques du ministère du Développement durable. D'après SIG Mines France, BRGM (2010).

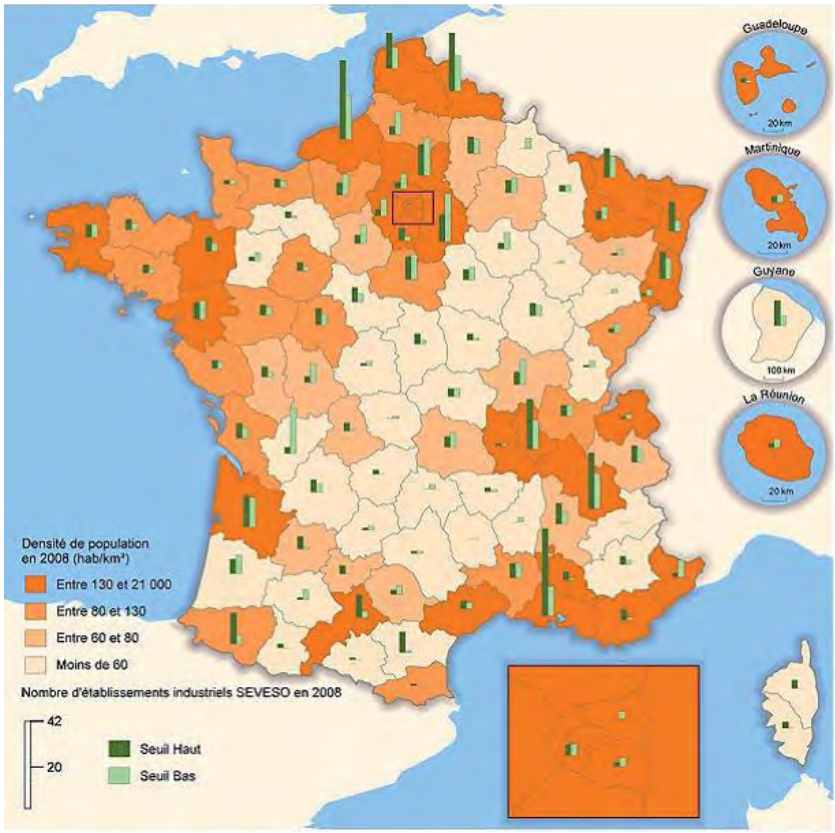
## 10. Exposition aux risques de rupture de barrage : localisation des barrages de classe A, B et C en 2011




*Lecture* : H = hauteur en mètre ; V = volume en million de $m^3$.

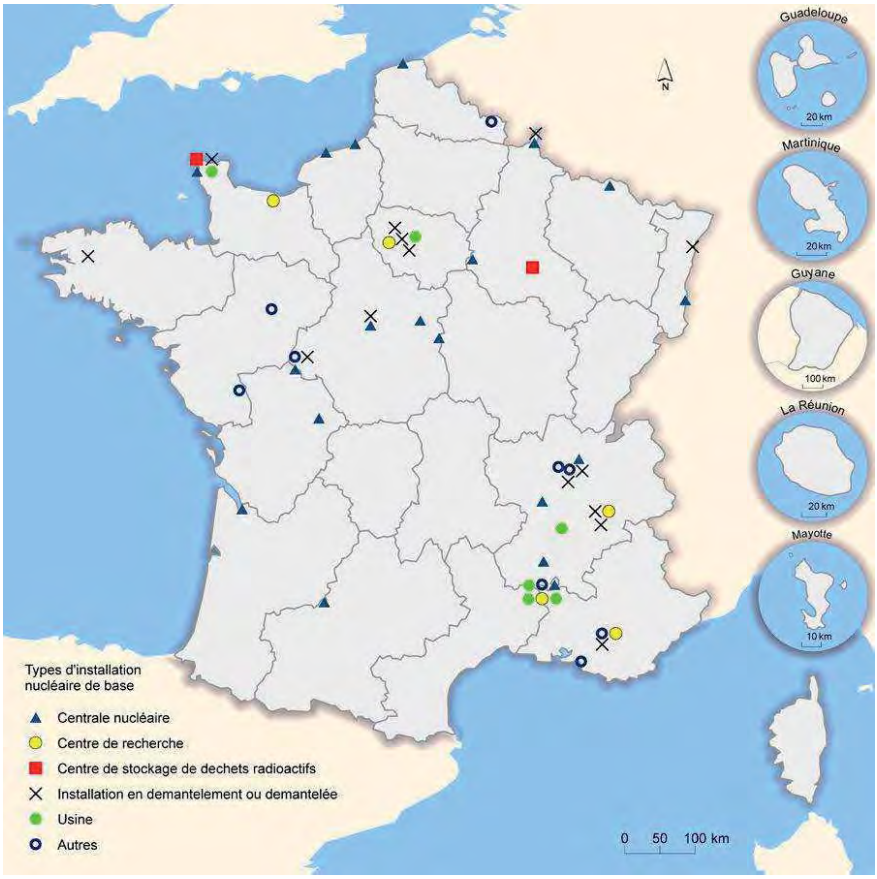
*Source* : Service de l'observation et des statistiques du ministère du Développement durable. D'après MEDDTL, DGPR (octobre 2011) et IGN, GEOFLA (2006).

## 11. Densité de population et répartition des sites Seveso industriels en 2008




*Source* : Service de l'observation et des statistiques du ministère du Développement durable. D'après MEEDDTL/DGPR (2010).

## 12. Localisation des installations nucléaires de base en 2010




*Sources* : Commissariat général au développement durable (2011), ASN, Liste des INB au 31 décembre 2010 et IGN, GEOFLA (2006).