



Les **événements** météorologiques **extrêmes** dans un **contexte** de **changement** **climatique**



Rapport au Premier ministre
et au Parlement

**OBSERVATOIRE NATIONAL
SUR LES EFFETS DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE**

Les **événements**
météorologiques
extrêmes
dans un **contexte**
de **changement**
climatique

**Rapport au Premier ministre
et au Parlement**

Publications de l'ONERC à la Documentation française

Un climat à la dérive : comment s'adapter ? Rapport de l'ONERC au Premier ministre et au Parlement, La Documentation française, Paris, 2005.

Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique, La Documentation française, Paris, 2007.

Changements climatiques et risques sanitaires en France, Rapport de l'ONERC au Premier ministre et au Parlement, La Documentation française, Paris, 2007.

Changement climatique. Coûts des impacts et pistes d'adaptation, Rapport de l'ONERC au Premier ministre et au Parlement, La Documentation française, Paris, 2009.

Villes et adaptation au changement climatique, Rapport de l'ONERC au Premier ministre et au Parlement, La Documentation française, Paris, 2010.

L'adaptation de la France au changement climatique, Rapport de l'ONERC au Premier ministre et au Parlement, La Documentation française, Paris, 2012.

Les outre-mer face au défi du changement climatique, Rapport de l'ONERC au Premier ministre et au Parlement, La Documentation française, Paris, 2013.

L'arbre et la forêt à l'épreuve d'un climat qui change, Rapport de l'ONERC au Premier ministre et au Parlement, La Documentation française, Paris, 2014.

Le littoral dans le contexte du changement climatique, Rapport de l'ONERC au Premier ministre et au Parlement, La Documentation française, Paris, 2015.

Adaptation au changement climatique, évaluation de la démarche nationale et recommandations, Rapport de l'ONERC au Premier ministre et au Parlement, La Documentation française, Paris, 2016.

Vers un 2^e plan d'adaptation au changement climatique pour la France. Enjeux et recommandations, Rapport de l'ONERC au Premier ministre et au Parlement, La Documentation française, Paris, 2017.

En application de la loi du 11 mars 1957 (art. 41) et du Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992, complétés par la loi du 3 janvier 1995, toute reproduction partielle ou totale à usage collectif de la présente publication est strictement interdite sans autorisation expresse de l'éditeur. Il est rappelé à cet égard que l'usage abusif et collectif de la photocopie met en danger l'équilibre économique des circuits du livre.

Sommaire

MOT DU PRÉSIDENT RONAN DANTEC	5
RÉSUMÉ	7
Chapitre A	
Introduction	11
Contexte	13
Événements extrêmes : définitions.....	14
Risques liés aux événements extrêmes : définitions.....	21
Les extrêmes météorologiques du point de vue des sciences sociales	24
Chapitre B	
Événements extrêmes dans les climats passé et actuel	27
Événements extrêmes déjà observés, coûts humains et financiers.....	29
Lien entre les changements déjà observés et les activités humaines	54
Chapitre C	
Évolutions dans un climat changeant, approche par phénomène	61
Quel sera l'impact futur du changement climatique sur les risques naturels majeurs ?	63
Conclusions	87
Chapitre D	
Prévention et gestion des risques liés aux événements climatiques extrêmes.....	89
La prévention et la gestion des risques, un élément majeur de l'adaptation au changement climatique	91
La prévention des risques naturels majeurs, un enjeu qui requiert la mobilisation de tous	94
La prévention des risques, une politique structurée et de long terme qui articule des actions complémentaires.....	100
Réduction de la vulnérabilité et de l'exposition aux risques : exemples de mise en œuvre.....	139

Conclusion	153
Bibliographie.....	159
Rapport d'activité de l'Observatoire.....	169
Action internationale	171
Politique d'adaptation au changement climatique	177
Information, formation et communication.....	178
ANNEXES.....	187
Annexe I Glossaire, sigles et acronymes.....	189
Annexe 2 Indicateur risque climatique	192
Annexe 3 De nouveaux indicateurs de changement des extrêmes météorologiques en France	194
Annexe 4 Contributeurs et remerciements	198

Mot du président Ronan Dantec



© Gaël Arnaud

Il y a un an, le cyclone Irma dévastait plusieurs îles des Antilles. Plus important cyclone depuis Allen en 1980, nous en connaissons les conséquences tragiques, des morts dans une dizaine de pays, des dégâts estimés entre 50 et 100 milliards de dollars.

Les scientifiques nous disent aujourd’hui que la puissance de ces «super-cyclones», plus que leur nombre, peut être corrélée avec le réchauffement climatique en cours, les températures de l’eau et de l’air. Il est donc probable que ces phénomènes extrêmes se reproduisent, nous devons nous y préparer.

Les difficultés rencontrées dans la reconstruction de Saint-Martin, où 90 % des espaces de vie ont été détruits ou gravement endommagés, doivent nous interpeller et nous amener à définir des orientations majeures dans les choix de reconstruction des bâtiments, la conception des réseaux, les systèmes d’assurance, incluant le suivi administratif des droits de propriété. C’est un lieu commun de souligner que territoires riches et pauvres n’ont pas les mêmes capacités de résilience, de mobilisation des fonds nécessaires à leur reconstruction. Les différences dans la rapidité de reconstruction des différentes îles antillaises disent mieux qu’un long discours cette réalité que nous ne devons pas occulter.

Les cyclones antillais ne sont pas la seule conséquence extrême du changement climatique que nous vivons ces derniers mois : canicules, incendies meurtriers et dévastateurs en Grèce, en Californie et même en Scandinavie, sécheresses... le monde se confronte chaque jour davantage aux conséquences du dérèglement. La mission de l’ONERC devient ainsi chaque jour plus stratégique, ses conclusions et propositions seront de plus en plus attendues.

Ce travail spécifique sur les événements climatiques extrêmes, le premier dont se saisit la commission spécialisée mise en place au sein du Conseil national de la transition Écologique, est aussi l’occasion de préciser la manière dont nous allons travailler dans la durée, à partir des thèmes que nous choisissons collectivement. Les grands principes qui nous guideront, et dont je suis garant en tant que président de cette commission spécialisée, doivent être la collégialité, en étant attentif au dialogue et à l’écoute entre tous les acteurs, l’analyse sans tabou des réponses apportées, parfois dans l’urgence, aux situations rencontrées, l’absence d’autocensure, mais en cherchant le consensus, dans la définition de propositions à la hauteur des enjeux. Sans ces exigences, nos travaux seront vains.

Articulé au deuxième Plan national d'adaptation au changement climatique, qui est notre feuille de route pour les prochaines années, le travail de notre commission doit permettre d'enrichir et de guider l'action publique, de mieux l'articuler avec les dynamiques de terrain, des acteurs économiques, des associations, des chercheurs et des élus locaux. C'est un programme ambitieux, mais face à la rapidité du dérèglement climatique, nous ne pouvons nous soustraire à notre responsabilité collective.

Résumé

Notre planète est le théâtre de nombreuses menaces naturelles : tempêtes, cyclones, inondations, mouvements de terrain, sécheresses. Les conséquences des catastrophes naturelles sont souvent dramatiques, tant du point de vue du bilan humain qu'en termes de dommages économiques. La France a été particulièrement éprouvée par la canicule de l'été 2003 qui a provoqué un excès de près de 15 000 décès. Quant au bilan financier, les rapports récents des caisses de réassurance montrent que les coûts mondiaux des désastres météorologiques ont atteint un record en 2017 avec plus de 400 milliards de dollars, pour ceux ayant pu être estimés.

On parle d'événements extrêmes ou d'extrêmes climatiques pour désigner à la fois les phénomènes météorologiques et les phénomènes climatiques. Le GIEC définit dans son cinquième rapport de synthèse les phénomènes météorologiques extrêmes comme des phénomènes rares se produisant en un endroit donné et à un moment particulier de l'année. Lorsque des conditions climatiques extrêmes se prolongent, on parle de phénomène climatique extrême.

Le présent rapport décrit l'état de l'art dans le domaine des événements extrêmes, leur observation, leur évolution dans un climat changeant, la politique de prévention des risques naturels dont les systèmes de prévision et d'alerte, les crises et leur gestion, la résilience et les pistes d'adaptation.

Les vagues de chaleur font partie des extrêmes climatiques les plus préoccupants au regard de la vulnérabilité de nos sociétés et de l'évolution attendue au xxie siècle. L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur en France est sans équivoque : les vagues de chaleur recensées depuis 1947 à l'échelle nationale ont été deux fois plus nombreuses au cours des trente-quatre dernières années que sur la période antérieure.

On observe également en France une augmentation en fréquence et en intensité des sécheresses. L'extension moyenne des sécheresses des sols est très nette depuis les années 1990. Depuis le début du xxie siècle, douze années sur dix-sept ont dépassé la moyenne des surfaces touchées sur la période 1961-1990 et les années 2003, 2005, 2011 et aussi 2017 ont occasionné des sécheresses de grande ampleur.

Pour ce qui concerne l'évolution du risque de feux de forêts et de broussailles, on constate déjà une hausse marquée de l'Indice feu météo (IFM) moyen de 18 % sur la période 1958-2008 sur l'ensemble du territoire français, indiquant des conditions météorologiques de plus en plus propices aux incendies.

Les mouvements de sol induits par le retrait-gonflement des argiles constituent également un risque majeur en raison de l'ampleur des dégâts matériels qu'ils provoquent, notamment parce qu'ils touchent la structure même des bâtiments.

Et ce phénomène de retrait-gonflement des argiles s'amplifie avec le changement climatique au point d'avoir engendré 8,6 milliards d'euros d'indemnisation pour des centaines de milliers de maisons en France pour la période 1990-2013. En ce qui concerne l'évolution de l'intensité et de la fréquence des pluies intenses, l'amplitude des pluies journalières les plus fortes sur le pourtour méditerranéen a augmenté de 20 % environ entre 1960 et aujourd'hui. En automne, sur les Cévennes, la probabilité de dépasser aujourd'hui des seuils élevés (300 mm/jour), comme ceux observés en 2014, a environ triplé en soixante-cinq ans. En termes de fréquence, le nombre d'événements générant des cumuls de pluie supérieurs à 200 mm est également en hausse significative du point de vue statistique depuis 2000.

Parmi les événements extrêmes les plus médiatisés aujourd'hui, on observe également une augmentation de l'activité des cyclones tropicaux dans l'Atlantique nord depuis les années 1970 et une forte augmentation de leur fréquence dans les années 2000. En 2005, on a ainsi relevé vingt-sept systèmes cycloniques contre une dizaine par an en moyenne. De même, la saison 2017 s'est distinguée avec le nombre record d'ouragans majeurs (six événements de catégorie supérieure à 3 dont trois ouragans de catégorie 5, Irma, José et Maria).

À plus haute altitude, c'est l'activité avalancheuse qui a augmenté, en particulier dans les massifs du sud des Alpes françaises.

Pris de manière indépendante, aucun événement climatique ne peut être attribué en tant que tel au changement climatique. Toutefois, les travaux de recherche établissent que le changement climatique vient modifier la probabilité d'occurrence de certains aléas. Cela concerne les vagues de chaleur, certains types de sécheresses, les précipitations intenses dans certaines régions, les cyclones les plus intenses et la hausse du niveau des mers.

En métropole, on peut ainsi anticiper que, dès la période 2021-2050, les vagues de chaleur estivales deviendront plus fréquentes, plus longues et plus intenses, avec des évolutions plus marquées encore pour le quart Sud-Est de la France. D'ici la fin du siècle, pour le scénario tendanciel, un épisode tel que celui de l'été 2003 deviendrait courant, voire serait régulièrement dépassé, tant en intensité qu'en durée. À l'inverse, les vagues de froid seront moins fréquentes, moins longues et moins intenses mais ne disparaîtront pas complètement.

Le risque de sécheresse devrait s'aggraver, avec une aggravation plus rapide et plus intense des sécheresses liées au déficit de précipitation et à l'augmentation de l'évapotranspiration des sols. La France risque donc de connaître, d'ici 2100, des sécheresses agricoles quasi continues et de grande intensité, totalement inconnues dans le climat actuel.

Les évolutions attendues pour les pluies extrêmes sont variables géographiquement, cependant une tendance générale se dessine, avec une augmentation de la quantité de pluie tombant au cours des épisodes les plus extrêmes – comme les phénomènes dits « cévenols » (voir annexe 3) – principalement en hiver, avec,

de plus, une extension des zones impactées au-delà des régions habituellement touchées, notamment, vers le Sud-Est ou les Pyrénées.

Les territoires exposés aux risques d'incendies de forêts devraient être plus étendus, couvrant une part importante de la forêt des Landes à l'horizon 2040 et les forêts de Sologne à l'horizon 2060.

Le réchauffement des océans, accompagné de la fonte des glaciers, engendre une hausse du niveau marin de plusieurs millimètres par an, en accélération sur les dernières décennies. D'ici 2100, la hausse devrait être de plusieurs dizaines de centimètres, voire un mètre, de manière non uniforme selon les côtes. Cela est de nature à accroître le risque de submersion marine mais aussi, selon les côtes, les effets d'érosion littorale.

Dans les Alpes françaises, d'ici la fin du siècle, le nombre d'avalanches devrait diminuer, tandis que les déclenchements de laves torrentielles devraient augmenter significativement.

Les études actuelles ne permettent pas de mettre en évidence une tendance future notable sur l'évolution du risque de vent violent lié aux tempêtes. En outremer, les simulations du climat pour le xxie siècle indiquent que les cyclones ne devraient pas être plus nombreux mais plus intenses.

L'Organisation météorologique mondiale rappelle que les phénomènes liés au temps, au climat et à l'eau sont à l'origine de 90 % des catastrophes naturelles. Qu'ils soient d'origine climatique ou non, la réponse aux événements extrêmes mise en place par la politique de prévention des risques naturels majeurs vise à prévenir les atteintes à la vie humaine, réduire les conséquences prévisibles et les dommages potentiels des événements, à gérer les crises et les catastrophes quand elles surviennent, anticiper les situations post-crise et réparer les dommages.

En France, cette politique s'appuie sur un socle comprenant le dispositif « régime CatNat », instauré en 1982, qui repose sur un mécanisme public-privé de solidarité nationale couvrant tous les particuliers disposant d'un contrat d'assurance « dommages », pour l'indemnisation, et le Fonds de Prévention des Risques Naturels Majeurs (FPRNM, dit « Fonds Barnier »), créé en 1995 pour la soutien à la prévention. La prévention des risques repose historiquement sur la mobilisation d'outils de maîtrise de l'urbanisme dans les zones à risques et de réduction de la vulnérabilité du bâti existant, tel que le plan de prévention des risques naturels (PPRN). Elle s'inscrit de plus en plus dans une approche complète de tous les axes de la prévention, en particulier dans les programmes d'action de prévention du risque d'inondation (PAPI), portés par les collectivités locales.

La prévention des risques naturels majeurs doit se faire sur des territoires pertinents. Dans le cas des inondations, elle se fait ainsi à des échelles emboîtées, à la fois à l'échelle du bassin hydrographique, du bassin versant et du territoire à risque important d'inondation dans des démarches d'aménagement durable des territoires.

La prévention des risques naturels articule sept axes d'action, qui sont chacun indispensables et doivent être mis en œuvre de manière complémentaire : connaissance, surveillance, information, maîtrise de l'urbanisme, réduction de la vulnérabilité, gestion de crise, retour d'expérience. Dans le cadre de l'élaboration du deuxième plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC-2), les discussions relatives à la prévention des risques naturels et à la résilience des territoires ont conforté la politique mise en œuvre : la priorité est sa mise en œuvre efficace par tous les acteurs. Ainsi, est ressortie la nécessité d'un portage local de cette politique qui, dans la durée, devrait être de moins en moins jacobine et émaner de plus en plus des territoires, le besoin plus important que jamais d'une mise à jour des connaissances et d'un approfondissement de la connaissance des aléas les plus impactés par le changement climatique ; la mise en place d'outils nouveaux, non plus pour réduire la vulnérabilité des territoires, mais pour permettre leur transformation et ainsi leur adaptation aux événements climatiques actuels et futurs. Les actions prévues dans le PNACC-2, complètent ainsi la prévention des risques naturels par le mise en exergue d'outils très transversaux comme le développement d'un service d'attribution des événements extrêmes, l'adaptation de la gestion forestière à l'accroissement prévisible des risques d'incendies en termes de fréquence d'occurrences et de surfaces concernées, la limitation de la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers, la meilleure infiltration des précipitations dans le sol, la meilleure résilience des bâtiments, la transformation des territoires les plus exposés aux effets du changement climatique... Ils permettront de minimiser les impacts attendus du changement climatique, en renforcement des politiques déjà en place de gestion des risques naturels majeurs et des risques sanitaires.

Des exemples de mise en œuvre locale d'actions visant à réduire les risques naturels sont présentés.

L'amélioration continue des connaissances permettra de préciser les impacts futurs du changement climatique. Les incertitudes inévitables ne doivent pas empêcher une action indispensable pour se préparer, dès à présent, à une température moyenne mondiale supérieure de 2°C à celle de l'ère préindustrielle. L'effort mené pour l'atténuation n'enlève aucune pertinence aux actions d'adaptation au changement climatique qui sont clairement complémentaires. Le changement climatique donne une nouvelle actualité à la prévention des risques naturels et fait ressortir la nécessité de la mobiliser au mieux. La limitation de l'exposition d'enjeux (habitations, entreprises, ...), existants ou nouveaux, doit, plus que jamais, être une priorité dans le contexte d'aléas croissants, et se faire dans une démarche d'aménagement durable des territoires, en articulation étroite avec d'autres politiques comme celle de la gestion de l'eau, de préservation de la nature, ou de la construction.

Chapitre A

Introduction

© Cerema



Contexte

Auteur : Jérôme Duvernoy,
MTES, DGEC/SCEE/ONERC

Notre planète est le théâtre de nombreuses menaces naturelles : tempêtes, cyclones, inondations, mouvements de terrain, sécheresses. Les conséquences des catastrophes naturelles sont souvent dramatiques tant du point de vue du bilan humain qu'en termes de dommages économiques¹. L'Organisation météorologique mondiale rappelle que les phénomènes liés au temps, au climat et à l'eau sont à l'origine de 90 % des catastrophes naturelles. Les rapports récents des réassureurs le démontrent avec des chiffres saisissants : en 2017 les coûts mondiaux des désastres météorologiques ont atteint un record avec plus de 400 milliards de dollars, pour ceux ayant pu être estimés². Pour certains aléas, le contexte de changement climatique pourrait se traduire par une recrudescence des événements extrêmes ou des impacts accrus, en termes de risques pour les populations et les activités économiques exposées, de santé et de fragilisation des écosystèmes. Cela concernerait les vagues de chaleur, certains types de sécheresses, les précipitations intenses dans certaines régions, les aléas gravitaires qui leur sont souvent associées en zone de relief (glissements de terrain, laves torrentielles, avalanches, etc.), les cyclones les plus intenses et la hausse du niveau des mers. Le degré de certitude de ces tendances (voire de leur existence ou de leur sens d'évolution) dépend toutefois du type d'événement et de la zone considérés.

On distingue les événements météorologiques extrêmes et les événements climatiques extrêmes qui ne se situent pas sur la même fréquence temporelle. Ainsi, les événements météorologiques extrêmes sont typiquement associés à des phénomènes météorologiques évoluant dans une échelle de temps inférieure à une journée ou au maximum de quelques jours; tandis que les événements climatiques extrêmes surviennent sur une période plus longue. Ils peuvent résulter de l'accumulation de plusieurs événements météorologiques (extrêmes ou non). Par exemple, l'accumulation de jours faiblement pluvieux tout au long de la saison peut conduire à une saison nettement en dessous de la moyenne voire à une sécheresse.

Dans un souci de simplification et selon la terminologie usuellement utilisée, ce rapport emploiera le terme d' « extrême climatique » pour désigner soit un phénomène météorologique extrême, soit un événement climatique extrême. Bien qu'ils s'agissent d'événements naturels, les séismes et les éruptions volcaniques sont exclus de cette étude car sans lien avec le changement climatique.

1. Livre blanc Fédération française de l'assurance (FFA), 2015.

2. NOAA, Ball State University Center for Business and Economic Research, Reuters, CoreLogic.

Par définition³, les événements climatiques sont qualifiés d'extrêmes lorsqu'une variable météorologique ou climatique prend une valeur située au-dessus (ou au-dessous) d'un seuil proche de la limite supérieure (ou inférieure) de la plage des valeurs observées pour cette variable. Le cinquième rapport de synthèse du GIEC (AR5)⁴ nous rappelle qu'il s'agit d'un phénomène rare en un endroit et à un moment de l'année. Même si les définitions du mot rare varient, un phénomène météorologique extrême devrait normalement se produire rarement, les seuils étant fixés de telle manière que moins de 10 % des phénomènes observés soient qualifiés d'extrêmes. Ces seuils sont également définis en fonction du besoin : projections, statistiques, assurance, social, économique... Dans l'absolu, les caractéristiques de conditions météorologiques qualifiées d'extrêmes peuvent varier d'un lieu à un autre. Selon le type d'événement, le changement climatique pourrait avoir un impact sur la fréquence (rareté) ou sur l'intensité des événements extrêmes.

Ce rapport est composé de plusieurs chapitres. L'introduction rappelle le contexte, et les définitions mais donne également un point de vue plus social. Le chapitre B est consacré aux événements extrêmes passés. Le chapitre suivant s'interroge sur les évolutions possibles de ces différents événements dans un contexte de changement climatique. Une sélection d'événements récents est étudiée en détail. Les derniers chapitres sont consacrés à la politique française d'adaptation au changement climatique et de gestion des risques naturels majeurs, aux exemples d'adaptation possibles et à la conclusion. Les événements extrêmes sont passés en revue en commençant par les événements climatiques et leurs impacts puis les événements météorologiques. Les effets de cascade ou effet domino, d'un événement déclencheur d'un autre événement majeur, ne sont pas étudiés dans ce rapport.

Événements extrêmes : définitions

Auteur : Jérôme Duvernoy,
MTES, DGEC/SCEE/ONERC

Vagues de chaleur, canicules, vagues de froid : de quoi parle-t-on ? L'OMM définit les **vagues de chaleur** comme un temps inhabituellement chaud et sec ou chaud et humide, qui dure au moins deux à trois jours, et qui produit le plus souvent un impact sensible sur la santé humaine et les systèmes naturels. Dans le volume 4 du rapport *Le climat de la France au 21^e siècle* (Ouzerou, et al., 2014), les vagues de chaleur étaient définies comme des périodes de cinq jours consécutifs avec une température maximale supérieure de 5 degrés à la normale 1976-2005. Une méthode de détection *a posteriori* des vagues de chaleur a été mise au point dans

3. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation : <https://www.ipcc.ch/report/srex/>
4. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>

le cadre du projet Extremoscope pour être applicable à toutes les échelles spatiales et tous les horizons temporels (Soubeyroux *et al.*, 2016).

Les définitions issues du Plan national canicule⁵ font office de référence pour le déclenchement des alertes. La **canicule** y est définie comme une période où les moyennes glissantes sur trois jours des températures minimales et maximales atteignent des seuils d'alerte départementaux, ces seuils pouvant être modulés par des facteurs aggravants de la chaleur (humidité, précocité, pollution de l'air, facteurs populationnels de type grands rassemblements...) en lien avec les Agences régionales de santé (ARS). La canicule est donc caractérisée par des périodes de températures élevées de jour comme de nuit. Ces périodes sont susceptibles de constituer un risque pour l'ensemble de la population exposée.

On parle **d'épisode persistant de chaleur** lorsque les températures sont élevées et perdurent dans le temps (plus de trois jours), proche ou en dessous des seuils d'alerte départementaux et de **pic de chaleur** pour l'atteinte de températures maximales pouvant atteindre des records mais sur une durée très courte (un à deux jours).

Une **vague de froid** est un épisode de temps froid caractérisé par sa persistance, son intensité et son étendue géographique : pendant au moins deux jours, les températures atteignent des valeurs nettement inférieures (de 5 °C) à une valeur de référence de la région concernée. En France, la vigilance météorologique utilise comme indicateur l'indice de refroidissement éolien prenant en compte l'effet de la température et du vent, et un seuil unique pour toute la France.

Il faut distinguer plusieurs types de **sécheresses** (Wilhite et Glantz, 1985) :

- La sécheresse météorologique correspond à un déficit prolongé de précipitations ;
- La sécheresse agricole se caractérise par un déficit en eau des sols superficiels (entre 1 et 2 m de profondeur), suffisant pour altérer le bon développement de la végétation. Elle dépend des précipitations et tient compte de l'évaporation des sols et de la transpiration des plantes (l'eau puisée par les racines est évaporée au niveau des feuilles). La sécheresse agricole est donc sensible aux précipitations, à l'humidité et à la température de l'air, au vent mais aussi à la nature des plantes et des sols ;
- La sécheresse hydrologique se manifeste lorsque les lacs, rivières ou nappes souterraines montrent des niveaux anormalement bas. Elle dépend des précipitations mais aussi de l'état du sol influant sur le ruissellement et l'infiltration. Le réseau hydrographique détermine les temps de réponse aux déficits de précipitations observés sur différentes périodes ;
- La sécheresse géotechnique est une période de longueur variable, caractérisée par un déficit pluviométrique plus ou moins marqué et se traduisant par une diminution de la teneur en eau de l'horizon du sous-sol.

5. <https://solidarites-sante.gouv.fr/actualites/presse/communiques-de-presse/article/plan-national-canicule>

L'incendie de forêt ou feux de forêt est « une combustion qui se développe sans contrôle, dans le temps et dans l'espace ». En plus des forêts au sens strict, les incendies concernent des formations subforestières de petite taille : par exemple le maquis, la garrigue, et les landes d'au moins un hectare.

En France métropolitaine, trente-deux départements sont aujourd'hui identifiés par le Code forestier comme particulièrement exposés au risque de feux de forêt. La région méditerranéenne (avec 4 millions d'hectares de maquis) et le massif aquitain (avec 1 million d'hectares de forêts de pins dans les Landes) sont les régions les plus exposées au risque incendie. Les « feux de forêts » se produisent principalement en été mais peuvent également se développer en hiver du fait de la sécheresse dans certaines régions. Les conditions météorologiques (vent, chaleur, hygrométrie, sécheresse) ont une grande influence sur la nature des feux de forêts.

Le retrait par assèchement des sols argileux lors d'une sécheresse prononcée (sécheresse géotechnique) et/ou durable produit des déformations de la surface des sols (tassemements différentiels). Il peut être suivi de phénomènes de gonflement au fur et à mesure du rétablissement des conditions hydrogéologiques initiales ou plus rarement de phénomènes de fluage avec ramollissement. Le phénomène de retrait-gonflement des argiles engendre régulièrement sur le territoire français des dégâts considérables aux bâtiments, ayant dépassé 60 millions d'euros cumulés par département entre 1989 et 1998. En raison notamment de leurs fondations superficielles, les maisons individuelles sont particulièrement vulnérables à ce phénomène. Plus de 4 millions de maisons seraient potentiellement exposées.⁶

Les pluies extrêmes⁷ sont caractérisées par l'apport d'une importante quantité d'eau sur une courte durée (d'1 heure à une journée). Cette quantité peut égaler celle reçue habituellement en un mois, voire en plusieurs mois. Des cumuls de l'ordre de 50 mm en 24 heures dans la plupart des régions de plaine et de l'ordre de 100 mm en 24 heures dans les régions montagneuses sont considérés comme des seuils critiques. Le dépassement de ces seuils peut provoquer, lorsque la nature du terrain s'y prête, de graves inondations. Pour les phénomènes les plus violents, le cumul des précipitations dépasse généralement les 100 mm en une heure. Dans le Sud de la France, les cumuls observés peuvent même dépasser 500 mm en 24 heures.

Les tempêtes et les cyclones⁸ :

La dénomination de **vent violent** s'applique en météorologie aux vents de force 10 à 12 sur l'échelle de Beaufort, c'est-à-dire aux vents moyens atteignant au moins 89 km/h (valeur minimale de la force 10).

6. http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Datalab_essentiel/2017/datalab-essentiel-122-retrait-gonflement-argiles-octobre2017.pdf

7. <http://pluiesextremes.meteo.fr/>

8. <http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/phenomenes-meteo/les-tempetes>

Dans le langage courant, et notamment dans le cadre de la « garantie tempête » en France des contrats d'assurance, la référence concerne les rafales supérieures à 100 km/h⁹. Ainsi, lorsque le vent atteint les 100 km/h dans l'intérieur des terres et 120 km/h (voire 130 km/h) sur les côtes, la dépression à l'origine de ces vents sera qualifiée de « **tempête** ». Ce terme désigne donc à la fois une zone étendue de vents violents et la dépression qui les génère.

Les tempêtes affectant plus de 10 % du territoire seront qualifiées de « majeures » au niveau national.

Des définitions spécifiques existent en météo marine et tropicale. Ainsi, en météorologie marine, une tempête correspond à la force 10 de l'échelle de Beaufort, c'est-à-dire à des vents moyens de 89 à 117 km/h et des rafales de 110 à 150 km/h.

En météorologie tropicale, on appelle « **tempête tropicale** » une dépression observée au niveau des latitudes tropicales ou subtropicales dont les vents moyens sont compris entre 62 et 117 km/h. Au-delà de ces valeurs, la dépression devient un « **cyclone tropical** »¹⁰. Ces phénomènes tourbillonnaires, de pression centrale très basse, mesurent en moyenne de 500 à 1 000 km de diamètre mais peuvent parfois atteindre des dimensions beaucoup plus importantes (le typhon Tip, observé dans le Pacifique en 1979 avait un diamètre de près de 2 200 km). Les Antilles Françaises, l'île de La Réunion sont particulièrement exposées à ces phénomènes.

En Europe, le risque **inondation** est le premier risque naturel climatique par l'importance des dommages qu'il provoque, le nombre de communes concernées, l'étendue des zones inondables et les populations résidant dans ces zones. Plus de 17,1 millions de personnes en France sont par exemple exposées aux inondations par débordement de cours d'eau, soit environ un habitant sur quatre.

Les inondations touchent plus de personnes dans le monde que n'importe quel autre aléa. Celles-ci peuvent prendre de nombreuses formes :

- crue ou débordement de cours d'eau ;
- ruissellement en surface ;
- submersion marine (inondation temporaire des zones côtières par la mer dans des conditions météorologiques et/ou de marées défavorables) ;
- remontée de nappe phréatique ;
- rupture d'ouvrage ;
- autres : rupture de poche glaciaire, débordement de réseau d'eaux pluviales.

À l'origine de ces phénomènes, sauf cas de rupture d'ouvrage, se trouve un aléa météorologique : fortes pluies en intensité ou en durée pour le ruissellement et pour les crues, ainsi que pour les remontées de nappes, houle de forte intensité

9. www.ffa-assurance.fr

10. Selon la région du globe, les cyclones prennent un nom différent : ouragan en Atlantique Nord, typhon en Asie de l'Est, médicane dans le bassin méditerranéen, cyclone dans les autres bassins océaniques.

et/ou niveau marin élevé pour la submersion marine¹¹, orages, tempêtes, cyclones en outre-mer. Les submersions marines peuvent avoir également une autre origine, comme un séisme sous-marin dans le cas des tsunamis. Ce cas n'est pas traité dans ce rapport car il ne provient pas d'un phénomène atmosphérique.

Dans les régions de montagne, certains versants pentus sont souvent affectés par des processus appelés **laves torrentielles** ou **coulées de débris**, ou *debris flows* en anglais (Jomelli V. IRSTEA). Ces coulées de débris se caractérisent par un mélange d'eau et de sédiments (Meunier, 1991; Blijenberg, 1988). Ils forment des modèles associant, en contrebas d'une paroi rocheuse, un chenal bordé par des levées et, à l'aval, un dépôt résultant de l'accumulation de débris sous forme de langue ou d'éventail (Van Steijn et al., 1988; Nieuwenhuijzen and Van Steijn, 1990; Van Steijn, 1991, 1996; Remaitre et al., 2005) (fig. A1). Le terme général de *debris flow* rassemble, cependant, des formes variées de mouvements de masse (Meunier, 1991). On distingue usuellement les laves torrentielles correspondant à un écoulement turbulent d'eau chargée en sédiments dans un chenal raide, des coulées de débris superficielles (Coussot, 1994). Ces dernières correspondent à un écoulement superficiel rapide ou extrêmement rapide sur une pente raide sans confinement dans un chenal préétabli, partiellement ou totalement saturé de débris (Hung, 2005). Celles-ci ne seront pas étudiées ici car leurs impacts sur les sociétés sont généralement limités (Jomelli et al., 2011) et leurs caractéristiques morphosédimentaires ainsi que leur fonctionnement sont peu différents des laves torrentielles (Jomelli et al., 2011).

Dans le détail, il existe plusieurs types de laves torrentielles en fonction de la concentration en sédiments (fig. A2). On peut distinguer les laves torrentielles transportant des sédiments de toute taille, des laves torrentielles immatures, elles-mêmes différentes des écoulements torrentiels à charge de fond. Il existe un continuum entre ces différents écoulements, mais les conditions de déclenchement et la dynamique diffèrent sensiblement d'un type à l'autre.

Le manteau neigeux, formé de l'accumulation successive de couches de neige, est en perpétuelle évolution. Une fois au sol, les cristaux de glace continuent de se transformer et les strates évoluent au gré du vent, des chutes de neige et d'autres interactions avec l'atmosphère. L'instabilité du manteau neigeux peut alors conduire à l'occurrence d'**avalanches**.

On distingue souvent les déclenchements d'avalanches spontanés et provoqués.

Les départs spontanés donnent lieu à des avalanches dites naturelles. Ils sont essentiellement d'origine météorologique, le plus souvent consécutifs à d'importantes chutes de neige, ils peuvent aussi être causés par l'humidification du manteau neigeux sous l'effet de la pluie, du redoux ou encore du rayonnement solaire. Ces avalanches, si elles sont suffisamment grandes, peuvent toucher des infrastructures, des routes ou des habitations et de ce fait causer des dégâts et parfois des victimes en fond de vallée.

11. Se référer au Rapport ONERC 2015, *Le littoral dans le contexte du changement climatique*.



Figure A1 – Lave torrentielle sous couvert forestier dans le massif des Écrins (juillet 2014)

On distingue un chenal et des levées latérales avec granoclassement. Certains arbres montrent des traces d'érosion sur la face amont de leur tronc et sont couverts de dépôts sablo argileux donnant une indication de la hauteur de l'écoulement (flèche rouge). L'échelle est donnée par la pochette d'un appareil photo en bas à droite.

Photo : Irstea.

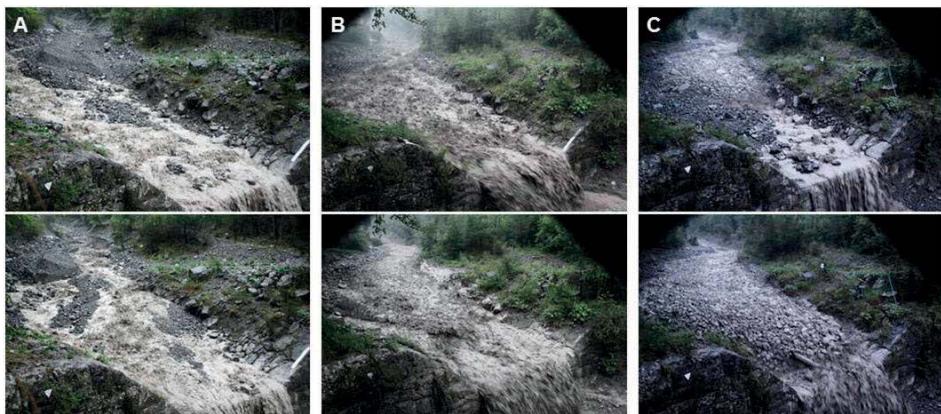


Figure A2 – Les différents types d'écoulement

(A : charriage 1^{er} mai 2015 ; B : lave immature 21 juillet 2017 ; C : lave 4 juillet 2018), torrent du Manival (Isère).

Photos : Irstea.

Les déclenchements provoqués, aussi appelés accidentels, dus au passage de pratiquants de la montagne (skieurs, randonneurs...), sont essentiellement liés à la qualité de la neige et à l'empilement des couches, ainsi qu'à la raideur et à la forme de la pente. Ils sont responsables de la très grande majorité des blessures et décès par avalanche, et n'entraînent que très rarement des avalanches de grande ampleur pouvant engendrer des dommages dans les vallées.

Les événements extrêmes neigeux sont issus de **tempêtes de neige** produites par des dépressions météorologiques hivernales importantes. Entre la fin de l'automne et le début du printemps, de tels systèmes se forment dans une masse d'air sous le point de congélation et les précipitations tombent sous forme de neige en quantité importante.

L'impact d'une tempête de neige varie selon l'endroit où elle se produit. Les régions où de tels phénomènes se produisent régulièrement sont équipées pour les surmonter alors que les villes où elles se produisent rarement peuvent être paralysées par quelques centimètres au sol. Par exemple, le 7 février 2018, l'Île-de-France a connu des chutes de neige remarquables pour la région. Ainsi la couche a atteint 15 à 20 cm sur les Yvelines et le Val-d'Oise et 12 cm à Paris. Il faut remonter au mois de mars 2013 pour retrouver les dernières chutes de neige aussi importantes en région parisienne. L'abondance de la neige se conjugue souvent à des vents forts générateurs de congères. Parmi les nombreux risques induits par les extrêmes neigeux et les tempêtes hivernales figurent ainsi la rupture d'infrastructures critiques (voies de communications, lignes électriques), la perturbation du transport aérien voire l'effondrement de toitures. La vulnérabilité **aux événements neigeux** des territoires tels que l'Île-de-France est issue de la conjonction entre un événement neigeux extrême, une population très dense non habituée et non équipée et un manque de moyens (saleuse, déneigeuse). Il convient également de noter une faiblesse des éléments de connaissances sur l'attribution et l'évolution des tempêtes hivernales génératrices de forts événements neigeux dans le contexte du changement climatique. De ce fait, ce type d'événement n'est pas traité de manière complète dans ce rapport.

Risques liés aux événements extrêmes : définitions

Auteurs : Jérôme Duvernoy,
MTES, DGEC/SCEE/ONERC

Le Service des Risques Naturels et Hydrauliques,
MTES, DGPR/SRNH

L'existence d'un risque naturel découle de l'articulation d'un phénomène naturel intense – cet événement étant par nature incertain, on le désigne sous le terme d'aléa – et de la présence d'enjeux, qui représentent l'ensemble des personnes et des biens (ayant une valeur monétaire ou non) pouvant être affectés par ce phénomène. Les conséquences d'un aléa sur les enjeux sont différentes selon la vulnérabilité de ces enjeux.

On parle de risque naturel « majeur » lors de la survenue d'un événement d'origine naturelle dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionner des dommages importants et dépasser les capacités de réaction de la société. Le qualificatif de « majeur » est bien sûr délicat à définir et peut varier dans le temps et dans l'espace. Les risques majeurs peuvent être caractérisés à la fois par une probabilité d'occurrence faible et une gravité telle qu'elle cause de nombreuses victimes et d'importants dommages aux biens et à l'environnement.

Un des critères possibles pour qualifier un risque de « majeur » repose sur les modalités de prise en charge des sinistres suite à un événement. Dans le système français actuel, peut être regardé comme majeur un événement qui relève de la réassurance, notamment à travers le mécanisme de reconnaissance d'état de catastrophe naturelle. La France est l'un des pays à s'être dotés d'un dispositif garantissant à chacun de ses citoyens une indemnisation systématique en cas de sinistre causé par un phénomène naturel exceptionnel. Instauré en 1982, le régime d'indemnisation, dit « régime CatNat », repose sur un mécanisme public-privé de solidarité nationale et couvre tous les particuliers disposant d'un contrat d'assurance « dommages ». Il fonctionne sur la base d'une prime additionnelle d'assurance qui s'élève à 12 % de la prime sur le bâti et à 6 % sur les véhicules motorisés. Ces primes sont réassurées au niveau national, principalement par l'entreprise à capitaux publics Caisse Centrale de Réassurance (CCR). En cas d'événement d'ampleur exceptionnelle qui provoquerait des dommages supérieurs aux réserves de réassurance, l'État apporte sa garantie. Pour une inondation par exemple, le processus d'indemnisation prévu par le régime de catastrophes naturelles n'est déclenché à ce jour que si le phénomène était au moins de type décennal (période de retour supérieure à dix ans).

En 2015 et 2016, 4 341 états de catastrophes naturelles ont été reconnus en France avec des dommages assurés de l'ordre de 5 milliards d'euros.

Encadré 1

Définition du risque

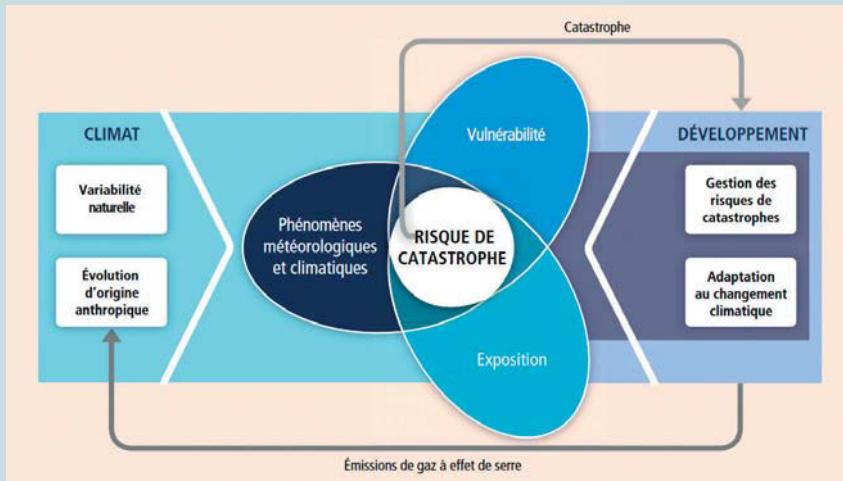


Figure A3 – Le rapport SREX analyse comment l'exposition et la vulnérabilité aux phénomènes météorologiques et climatiques déterminent les conséquences et la probabilité d'une catastrophe (le risque de catastrophe)

Source : GIEC, SREX.

Aléa, danger, péril :

Phénomène ou tendance physique, naturel ou anthropique, ou incidence physique susceptible d'entraîner des pertes en vies humaines, des blessures ou autres effets sur la santé, ainsi que des dégâts et des pertes touchant les biens, les infrastructures, les moyens de subsistance, la fourniture des services, les écosystèmes et les ressources environnementales.

Vulnérabilité :

Degré par lequel un système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets néfastes des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur, et du rythme des changements climatiques auxquels un système est exposé, ainsi que de sa sensibilité, et de sa capacité d'adaptation (GIEC, 2007). Propension ou prédisposition à subir des dommages. La vulnérabilité englobe divers concepts ou éléments, notamment les notions de sensibilité ou de fragilité et l'incapacité de faire face et de s'adapter. (GIEC, 2014)

Exposition :

Présence de personnes, de moyens de subsistance, d'espèces ou d'écosystèmes, de fonctions, ressources ou services environnementaux, d'éléments d'infrastructure ou de biens économiques, sociaux ou culturels dans un lieu ou dans un contexte susceptibles de subir des dommages. (GIEC, 2007)

La norme ISO 14 090 précise dans une note que l'exposition peut changer au fil du temps, par exemple à la suite d'un changement d'affectation des terres.

Risque :

Conséquences éventuelles et incertaines d'un événement sur quelque chose ayant une valeur, compte tenu de la diversité des valeurs. Le risque est souvent représenté comme la probabilité d'occurrence de tendances ou d'événements dangereux qui viennent amplifier les conséquences de tels phénomènes ou tendances lorsqu'ils se produisent.

Les risques naissent de la conjonction d'un phénomène physique déclencheur et d'une situation de vulnérabilité et d'exposition des personnes et des biens :

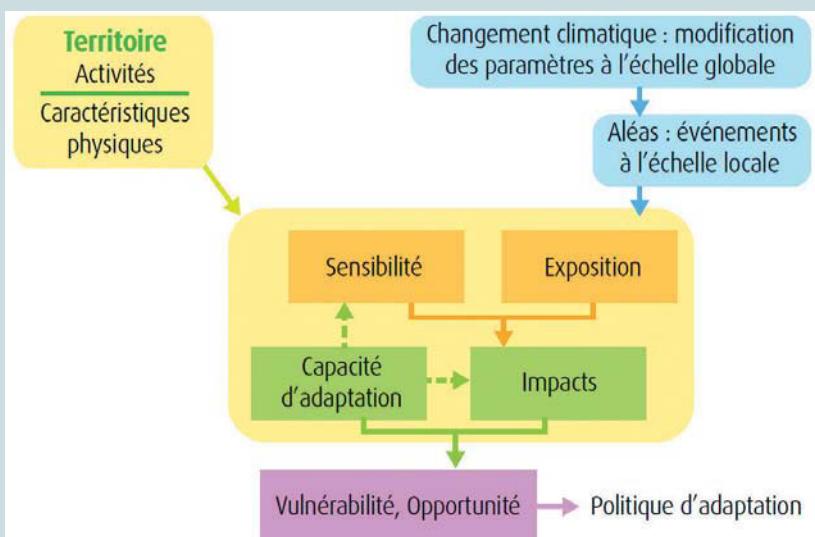


Figure A4 – Schéma explicatif des concepts associés à la vulnérabilité au changement climatique

Source : MTES, CGDD.

Les extrêmes météorologiques du point de vue des sciences sociales

Auteur : Jean-Paul Vanderlinden,

Laboratoire CEARC, université de Versailles
Saint-Quentin-en-Yvelines et université Paris-Saclay

Lorsque l'on se penche sur les événements extrêmes comme phénomènes se déployant dans la sphère publique, plusieurs « extrêmes » coexistent, interagissent, génèrent des enjeux différents, des instrumentalisations différentes. Il importe donc, lorsqu'un événement extrême est invoqué dans le cadre de l'action publique par exemple, d'être particulièrement attentif au contexte particulier, et à la compréhension que peuvent en avoir les acteurs concernés. Nous proposons ici quelques clés pour réaliser cette contextualisation.

Quelques éléments concernant les données utilisées

Les éléments présentés sont le résultat d'un travail d'analyse, mené sur différents ensembles de données textuelles qui ont été récoltées ces dernières années : articles de presse couvrant la vague de froid de 1953-1954, en France ; articles de presse couvrant la canicule de 2003, en France ; des enregistrements vidéo et audio de deux groupes de discussion sur le sujet rassemblant des parties prenantes de secteurs public et privé, menés à Paris, et finalement une série d'entretiens menés :

- avec des chercheurs en sciences du climat se spécialisant dans les questions relatives aux événements extrêmes ;
- avec des cadres du secteur de l'assurance ;
- avec des responsables au sein de collectivités territoriales.

Extrême météorologique, un concept multiforme

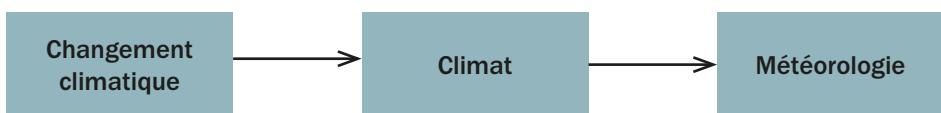
Les analyses basées tant sur la presse et les médias que sur des entretiens et des ateliers (Vanderlinden, 2015), montrent que le vocable « événement météorologique extrême » (extrême pour la suite du texte) est polysémique¹². Pour certains il s'agit de l'événement météorologique en soi, dans sa rareté ; pour d'autres ce sont les impacts qui sont « extrêmes », ce qui est important ce sont les conséquences ; parfois ce sont les déficits de solidarité ou l'échec du politique qui semblent « extrêmes ». Le sens donné à « extrême » peut évoluer dynamiquement au fil du temps, au fur et à mesure que l'événement se produit et au cours de ses répercussions. Par exemple, tant la vague de chaleur de 2003 que l'hiver 1953-1954 sont traités par la presse d'abord comme une curiosité (l'écart à la normale

12. Qui a plusieurs significations, qui peut être compris de plusieurs façons.

amuse), ensuite comme une crise émergente (l'écart à la normale prend un tour plus sinistre en raison de ses impacts), ensuite comme une faillite des solidarités (les impacts auraient pu être évités, la solidarité eut-elle été plus importante) et finalement l'extrême devient, par une instrumentalisation plus ou moins importante, un objet politique.

Une inscription dans une chaîne de causalité dont il ne peut être fait abstraction

Ces « glissements de sens » s'inscrivent dans des schémas de causalité où les extrêmes météorologiques ne sont pas les seuls responsables des impacts associés, les inégalités socio-économiques, les différentiels d'exposition, l'histoire et l'aménagement du territoire, le retrait de l'État, les mécanismes de gouvernance des risques, par exemple, peuvent jouer un rôle dans l'importance des conséquences d'un événement et donc dans son traitement en tant qu'extrême. On observe par exemple régulièrement que lorsque sont envisagées les déclarations causales associées à des événements extrêmes (du climat, à l'impact, en passant par les événements météorologiques extrêmes), les parties prenantes peuvent se concentrer sur différentes parties de la chaîne causale, en fonction de leurs intérêts particuliers, ce qui exclut parfois la causalité :



Une entrée risque où les probabilités peuvent être mal comprises

Du point de vue de la gouvernance, les extrêmes sont fréquemment traités via une entrée risque. Nous considérons ici une des définitions dominantes du risque : un risque est la combinaison d'un aléa et d'un ou plusieurs enjeux ; l'aléa est caractérisé par une intensité et des incertitudes. Dans un contexte de gouvernance de risque, la communication de l'incertitude, ou des incertitudes, représente un défi particulier. Une dimension que nous rencontrons souvent tient à la confusion que crée l'utilisation du concept de période de retour. Bien entendu, la période de retour, comme inverse de la probabilité d'occurrence d'un événement une année donnée, est bien comprise dans l'univers de la gouvernance des risques. Nous rencontrons deux défis néanmoins. Pour un public élargi, la période de retour est parfois comprise comme une périodicité stricte et non comme l'expression de probabilité. Cela peut générer des phénomènes de surexposition. De façon plus importante, le calcul des périodes de retour repose sur une hypothèse de stationnarité du climat. Or sous un climat changeant cette hypothèse n'est plus vérifiée, si elle l'a jamais été. Comment alors expliquer, au public, l'origine des probabilités utilisées, l'origine du chiffre associé à la période de retour annoncée ?

Un deuxième défi est en cours d'émergence sur le front de la compréhension des incertitudes associées aux extrêmes météorologiques. Il existe aujourd'hui une communauté de chercheurs en sciences du climat qui se concentre sur le développement d'outils d'attribution d'un événement précis. Ces exercices sont par nature probabilistes, les exercices d'attribution ont pour résultats l'expression de probabilités nichées. Par exemple, Stott et ses collègues en 2004 étaient en mesure d'écrire qu'il y avait 95 % de chance que la probabilité d'un événement du type de celui de la vague de chaleur de 2003 ait doublé (Stott, 2004). Ce type de déclaration, par sa complexité, est difficilement compris par un public large.

Quelques précisions plus théoriques

Une entrée particulière a été utilisée, celle de l'articulation sociale, pour poser le regard des sciences sociales sur les extrêmes météorologiques. Par articulation sociale, il faut entendre l'interaction des concepts au sein des groupes sociaux et entre eux, concepts et groupes interagissant dynamiquement. *Ex ante*, on peut considérer que les concepts sont intégrés dans des systèmes de signification ; on peut supposer que les interactions entre et au sein de ces systèmes sont essentielles à l'utilisation des concepts. De plus, on ne peut pas dissocier le concept d'événement extrême des causalités qui y sont associées. En effet, une partie importante de ces résultats montre que d'emblée, pour les sujets « événements extrêmes », causalités invoquées et responsabilités sont des concepts enchevêtrés, constamment présents lorsqu'un événement singulier a lieu.

Chapitre B

Événements extrêmes dans les climats passé et actuel

Dans ce chapitre, les événements extrêmes sont passés en revue à travers un bref historique des événements les plus marquants et un aperçu de leurs impacts économiques et sociaux. L'influence du changement climatique est ensuite analysée sur une sélection d'événements récents.

© Thierry Degen – Terra



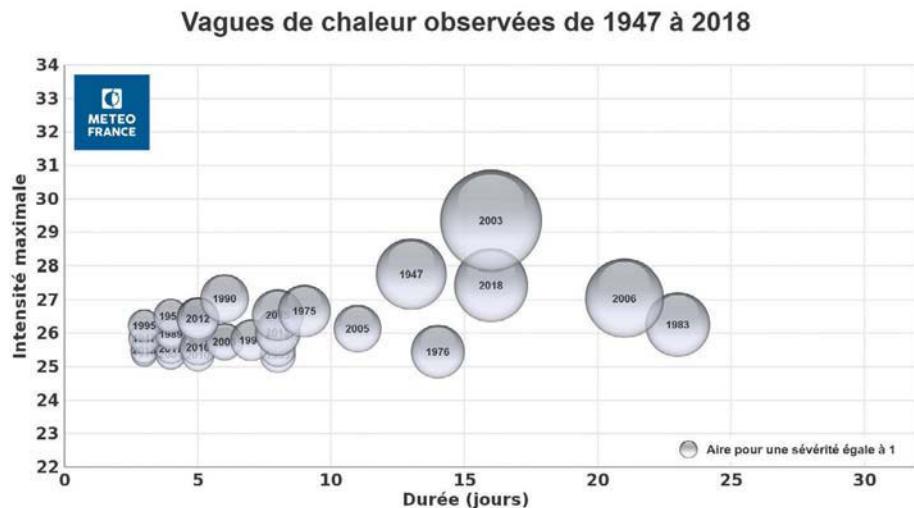
Événements extrêmes déjà observés, coûts humains et financiers

Vagues de chaleur

Auteurs : Mathilde Pascal,
Santé publique France
Jean-Michel Soubeyroux,
Météo-France

Les **vagues de chaleur** font partie des extrêmes climatiques les plus préoccupants au regard de la vulnérabilité de nos sociétés et de l'évolution attendue de leur fréquence et leur intensité au xxie siècle (GIEC, 2013). La France a été particulièrement éprouvée par la canicule de l'été 2003 qui a provoqué un excès de près de 15 000 décès entre le 4 et le 18 août directement attribuable à la chaleur (Poumadère *et al.*, 2005). Depuis 2003, des vagues de chaleur particulièrement intenses ont touché de nombreuses autres zones de la planète (Russie 2010, Texas 2011, Australie 2012, Espagne 2015) tandis que la métropole a été à nouveau confrontée à des événements moins intenses que 2003 mais de plus en plus fréquents (juillet 2006, août 2012, juillet 2013, juillet 2015, août 2016, juin 2017, juillet et août 2018). Sur de grandes régions du territoire, des vagues de chaleur très intenses se sont également produites dans les années récentes comme sur les régions méditerranéennes en août 2017 et 2018, avec des températures diurnes et nocturnes record. Cette récurrence d'événements extrêmes a nécessité de développer des outils de prévention de ces aléas (système de vigilance météorologique, plans de veille sanitaire) mais aussi d'analyse en temps réel (Schneider *et al.*, 2012). Dans le cadre du projet Extremoscope (2013-2016), une définition des vagues de chaleur a été mise au point pour être applicable à toutes les échelles spatiales et tous les horizons temporels (Soubeyroux *et al.*, 2016) et un historique complet des vagues de chaleur a été établi à l'échelle nationale depuis 1947 et à l'échelle départementale depuis 1958.

L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur en France est sans équivoque : les vagues de chaleur recensées depuis 1947 à l'échelle nationale ont été deux fois plus nombreuses au cours des trente-quatre dernières années que sur la période antérieure (fig. B1). Cette évolution se matérialise aussi par l'occurrence d'événements plus forts (durée, intensité globale) ces dernières années. Ainsi, les quatre vagues de chaleur les plus longues et trois des quatre plus intenses se sont produites après 1981.



**Figure B1 – Recensement des vagues de chaleur en France de 1947 à 2018
à partir de l’indicateur thermique national**

Source : Météo-France, Climat HD.

Vagues de froid

Auteurs : Mathilde Pascal,
Santé publique France
Jean-Michel Soubeyroux,
Météo-France

Une méthode équivalente a été mise au point pour la caractérisation des **vagues de froid**. Si le réchauffement climatique global tend à diminuer l'intensité des épisodes froids en Métropole, le diagnostic sur l'évolution observée des vagues de froid n'est pas symétrique à celui des vagues de chaleur. Les vagues de froid recensées depuis 1947 à l'échelle nationale ont été légèrement moins nombreuses sur les trente-quatre dernières années que sur la période antérieure mais surtout moins intenses. Ainsi les quatre vagues de froid les plus longues et les plus intenses (février 1956, janvier 1963, janvier 1985 et janvier 1987) ont été observées il y a plus de vingt-cinq ans mais ce type d'événement reste bien présent dans notre climat de début du xxie siècle comme en témoigne l'épisode de février 2012 (fig. B2).

L'influence de la température sur la mortalité et sur le recours au soin est désormais établie par de très nombreuses études épidémiologiques (Hanna 2015, Corso 2017 et Pascal 2013). Ces études mettent en évidence un effet non-linéaire, très rapide de la chaleur sur la santé, concentré dans les quelques heures à quelques jours suivant l'exposition et un effet du froid plus modéré, persistant sur plusieurs semaines après l'exposition (fig. B3).

Vagues de froid observées de 1947 à 2018

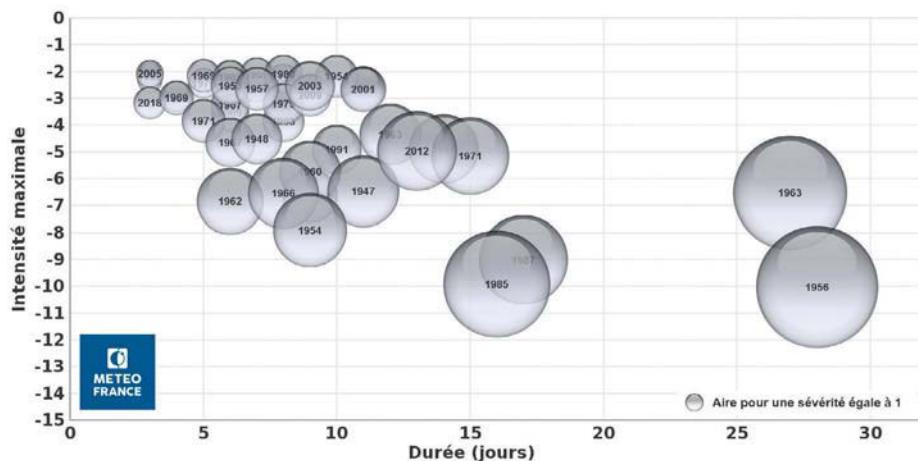


Figure B2 – Recensement des vagues de froid en France de 1947 à 2018 à partir de l'indicateur thermique national

Source : Météo-France, Climat HD.

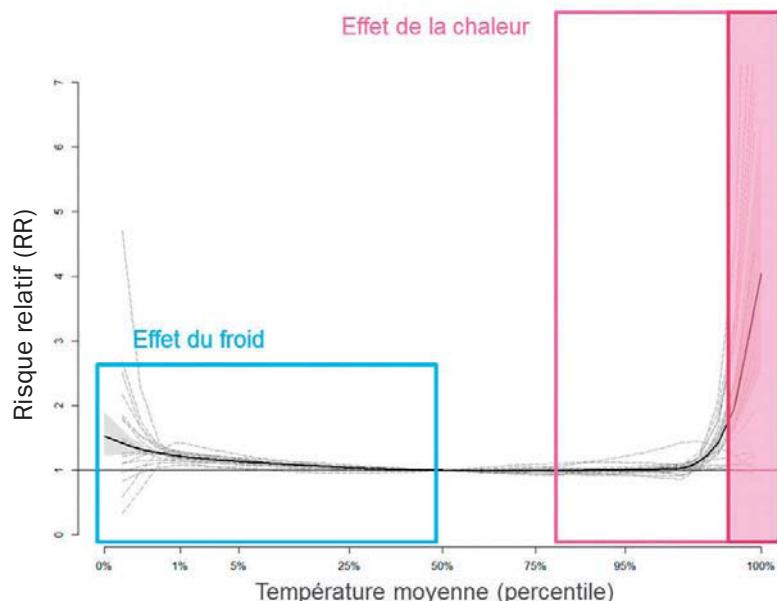


Figure B3 – Influence de la température sur le risque relatif (RR) de décès cumulé sur les vingt et un jours suivant l'exposition à un percentile de température (par rapport à la mortalité attendue pour une température médiane) – Méta-analyse (courbe en trait plein et IC95 %) de dix-huit villes métropolitaines (courbes en pointillés) sur la période 2000-2010

Source : Corso M., 2017.

L'épidémiologie montre également que la température a une influence sur la mortalité à partir de valeurs qui ne sont généralement pas considérées comme « froides » ou « chaudes ». Ces températures « douces » contribuent même davantage à la mortalité que les extrêmes, chauds ou froids, car elles cumulent un impact faible mais sur un nombre important de jours. Ces études mettent également en évidence que l'impact sur la mortalité survient même à partir de températures habituelles. Ainsi, en France, sur dix-huit villes métropolitaines, entre 2000 et 2010, le froid a été responsable de 3,9 % [3,2 : 4,6] de la mortalité (impact cumulé sur 0-21 jours), principalement due à des températures habituelles, situées par exemple entre -3 et 6°C dans les villes semi-continentales et entre 4 et 10°C dans les villes méditerranéennes. La chaleur a été responsable de 1,2 % [1,1 : 1,2] (impact cumulé sur 0-3 jours) de la mortalité totale, avec un effet apparaissant à partir de températures variant de 13 à 21 °C selon la ville.

Ainsi, en termes de prévention, il importe de prendre en compte l'ensemble des températures et pas uniquement les événements les plus extrêmes, vagues de chaleur ou vagues de froid.

Un focus particulier sur ces événements demeure toutefois nécessaire, car ils présentent des caractéristiques particulières nécessitant une réponse organisée pour protéger les personnes et éviter l'embolisation du système de soin. Sur le plan sanitaire, la prévention de ces événements s'appuie sur le Plan national canicule (PNC) et le Plan grand froid.

Dans le cadre de la chaleur, des températures très extrêmes peuvent se traduire par une surmortalité massive, concentrée sur quelques jours, et d'une ampleur inédite dans le champ des risques sanitaires. En effet, si la chaleur « modérée » frappe principalement des personnes vulnérables du fait de leur état de santé, de leur âge ou de leur exposition professionnelle, la chaleur très intense pose un risque pour la quasi-totalité de la population.

Les seuils du Plan national canicule ont été établis afin de cibler les événements nécessitant une réponse rapide des pouvoirs publics, mais en aucun cas pour éviter tout effet sanitaire de la chaleur. Pendant ces périodes, le PNC se concentre sur des actions d'information et de communication, l'identification à l'échelle des municipalités des personnes vulnérables, le déclenchement des plans blancs et plans bleus... Ces mesures sont à l'initiative de nombreux acteurs institutionnels, municipaux, associatifs, et graduées selon le niveau de vigilance. En parallèle, la prévention de fond commence à se développer, avec notamment des mesures visant à réduire l'îlot de chaleur urbain et à développer des îlots de fraîcheur. Cette prévention de fond doit toutefois veiller à ne pas aggraver les inégalités sociales de santé et à bénéficier à l'ensemble des personnes vulnérables.

Les efforts de prévention se justifient par l'importance des impacts sanitaires. Entre 1974 et 2013, on recense 931 périodes répondant à la définition de canicules à l'échelle départementale en France métropolitaine, durant lesquelles ont été observés plus de 32 000 décès en excès. La canicule de 2003, qui n'a aucun équivalent historique, y compris depuis la mise en place du PNC, totalise presque

la moitié de cet impact, avec près de 15 000 décès en excès. Les autres canicules les plus meurtrières se sont concentrées en 1976, avec 4 500 décès en excès, 1983, avec 2 900 décès en excès et 2006, avec 1 400 décès en excès (rapport Santé publique France, à paraître). Dans les années récentes, les canicules les plus sévères ont été observées en 2015, avec un impact estimé de 1 700 décès en excès (Pascal M., 2017) et en 2018 avec environ 1 500 décès en excès. Il faut souligner que ces impacts différents peuvent s'expliquer par des différences dans l'intensité de la chaleur, l'étendue géographique, la taille de la population touchée, et ne permettent pas d'en tirer des conclusions sur l'efficacité des mesures de prévention mises en place.

En parallèle de la mortalité, on continue d'observer tous les ans un effet sensible de la chaleur sur le recours aux soins d'urgences, notamment pour des pathologies très spécifiques de la chaleur (PLC). Toutes les classes d'âges sont concernées (fig. B4).

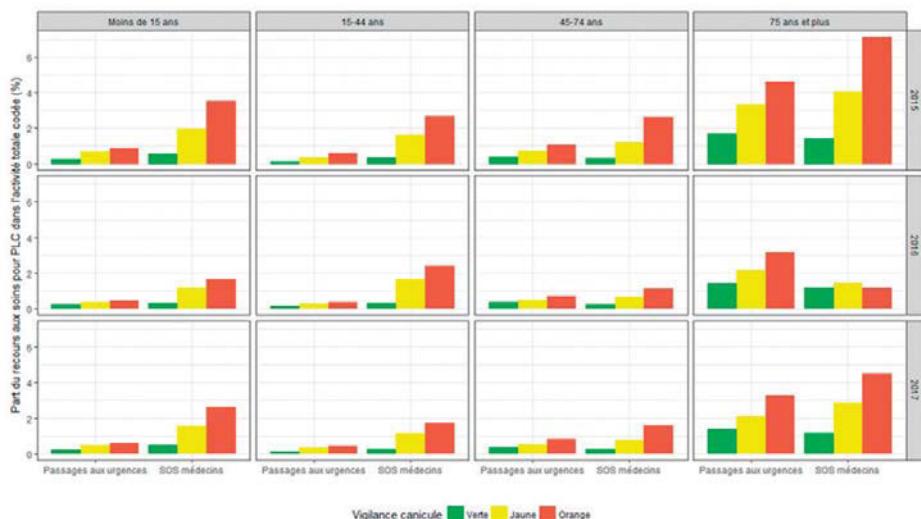


Figure B4 – Part (en %) moyenne des recours aux soins pour PLC dans l'activité totale codée selon le niveau de vigilance (agrégation nationale), par année et classe d'âge

Pascal M., 2017.

En plus de l'augmentation du nombre de canicules au fil des années, on constate également une modification de leur répartition géographique et calendaire. Ceci pose de nouveaux défis en matière de prévention. Par exemple, les vagues de chaleur précoces de juin 2015 et 2017 semblent se caractériser par un recours aux soins d'urgences pour PLC plus important que d'ordinaire chez les enfants et les jeunes adultes, en lien avec des expositions possibles en milieux scolaires et professionnels (Pascal M., 2017).

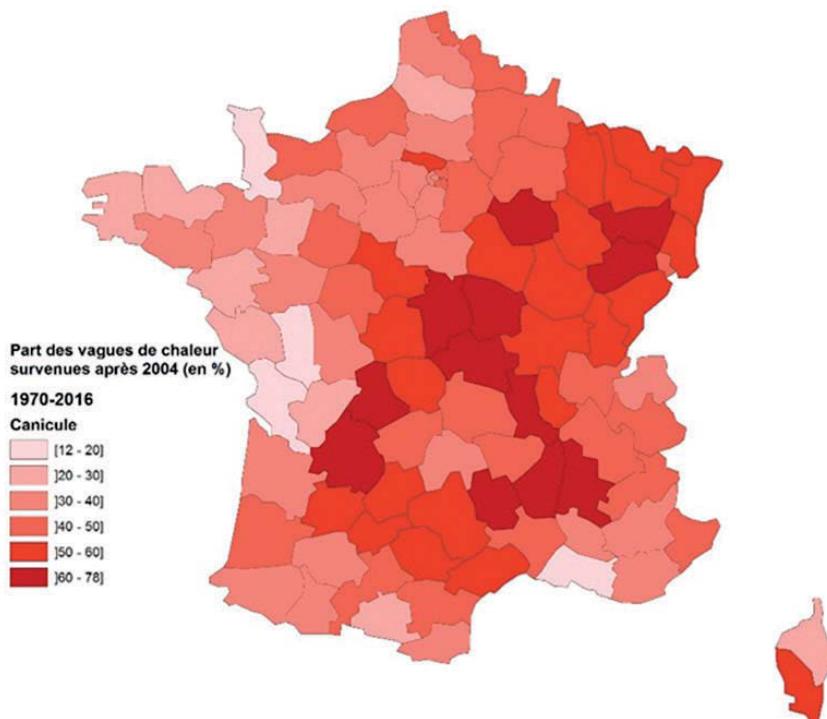


Figure B5 – Sur la période 1970-2016, part (en %) des canicules de la période survenue après la mise en place du plan national canicule en 2004

Source : Santé publique France, 2018.

Dans le cas du froid, il s'agira de prévenir, par exemple, non seulement ses effets, mais également ceux des conditions météorologiques associées, pouvant entraîner des accidents, traumatismes, ou intoxications au monoxyde de carbone. Actuellement, le Plan grand froid se concentre sur des campagnes de communication et des mesures spécifiques pour les personnes précaires (places d'hébergement, maraudes, trêve hivernale, aides financières...). On dispose de peu de données sur l'impact des vagues de froid, ces événements étant beaucoup plus rares, et ne faisant pas l'objet de bilans systématiques comme les vagues de chaleur.

Les sécheresses

Auteurs : Jean-Michel Soubeyroux,

Météo-France

Jérôme Duvernay,

MTES, DGEC/SCEE/ONERC

L'Europe du Sud et la France notamment sont particulièrement concernées par les effets du changement climatique, avec une augmentation en fréquence et en intensité des sécheresses (GIEC, 2007). La variabilité des temps de réaction des aquifères, des cycles écologiques ou socio-économiques, impose de considérer les déficits hydriques sur différentes profondeurs temporelles, de quelques mois à quelques années. S'il n'existe pas d'indicateur universel pour tous les types de sécheresse, un indicateur standardisé dénommé SPI a été recommandé par l'Organisation mondiale de la météorologie en 2010 pour l'analyse des sécheresses météorologiques, liées à un déficit du cumul de précipitations. Dans le cadre du projet ClimSec (2008-2011), cet indicateur a été étendu à la sécheresse des sols (Soubeyroux *et al.*, 2012) et permet de suivre les événements en temps réel et d'en produire un recensement depuis 1958 à l'échelle nationale et régionale.

Si on n'identifie pas à ce jour de tendance à l'évolution des sécheresses météorologiques à l'échelle de la métropole, l'extension moyenne des sécheresses des sols depuis 1959 est en revanche très nette depuis les années 1990 (fig. B6). Depuis le début du XXI^e siècle, douze années sur dix-sept ont dépassé la moyenne des surfaces touchées sur la période 1961-1990. Les années 2003, 2005, 2011, 2017 et aussi 2018 ont occasionné des sécheresses de grande ampleur.

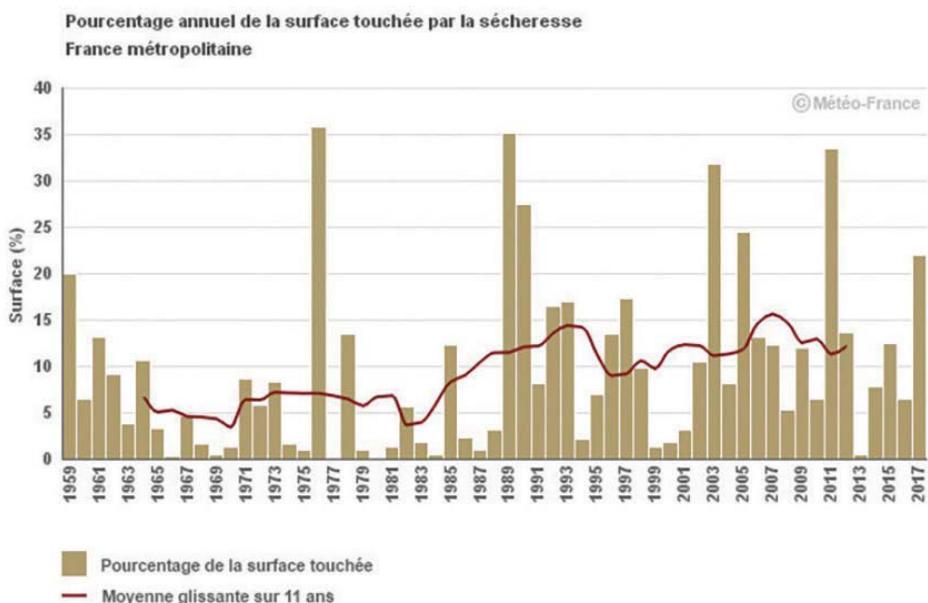


Figure B6 – Recensement du pourcentage annuel de la surface du territoire affectée par la sécheresse depuis 1959

Source : Météo-France, Climat^{HD}.

Le phénomène de **retrait-gonflement des argiles** qui génère de graves désordres sur le bâti est occasionné par un assèchement fort du sol en présence d'argiles. Plusieurs indicateurs ont été définis dans le cadre du dispositif catastrophes naturelles auquel ce phénomène est éligible depuis 1990 : ils s'appuient sur le caractère anormal de la moyenne trimestrielle d'humidité du sol, évaluée par simulation du bilan hydrique du sol. Deux types d'événement sont particulièrement suivis, les sécheresses estivales intenses et les sécheresses de longue durée centrées sur l'hiver.

Une réanalyse des événements depuis 1959 (Blanchard et Soubeyroux, 2015) a mis en évidence le caractère exceptionnel des années 1989 et 1990 mais aussi de la sécheresse estivale de 2003. L'augmentation de la fréquence observée des sécheresses depuis les années 1990 est aussi particulièrement notable (fig. B7) et est à rapprocher de l'extension des surfaces touchées. Ainsi, depuis le début du xx^e siècle, onze années sur seize ont dépassé la moyenne des surfaces touchées sur la période 1961-1990 (source : Climat HD).

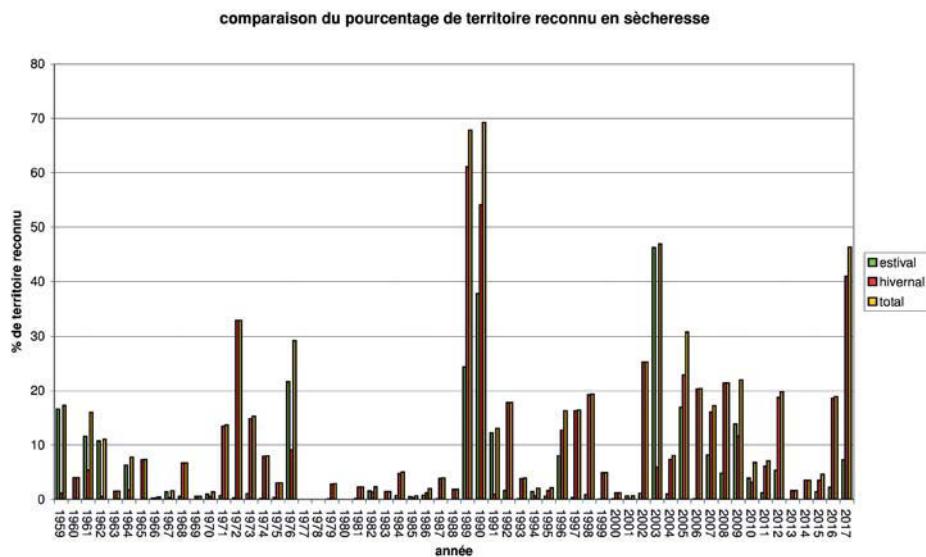
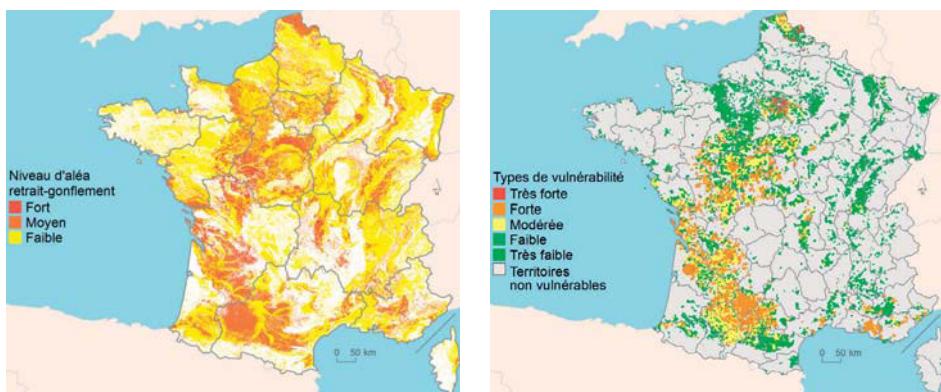


Figure B7 – Recensement du pourcentage annuel de la superficie potentiellement affectée par les effets de retrait/gonflement des argiles depuis 1959

Source : Météo-France.

Près de 63 % des sols métropolitains montrent des prédispositions au retrait-gonflement des sols argileux ou marneux (fig. B8a). La survenance des sinistres dépend d'autant plus de l'intensité des phénomènes météorologiques que l'aléa retrait-gonflement s'avère faible. L'analyse statistique des aléas, des enjeux et de la sinistralité consécutive à une sécheresse exceptionnelle (part du territoire en aléa retrait-gonflement d'argiles fort ou moyen, densité de maisons individuelles,

nombre d'arrêtés de CatNat sécheresse) permet de déterminer six catégories de communes¹ (fig. B8b).



**Figure B8a – Gauche aléa retrait-gonflement des argiles ;
B8b – droite typologie de la vulnérabilité des territoires au retrait-gonflement des argiles**

Sources : BRGM, 2013 ; DGFIP, MAJIC, 2014 ; Meem, DGPR, Gaspar, 2016. Traitements : MTES, CGDD/SDES, 2017.

Jusqu'à 2017 (avec le cyclone Irma), la sécheresse de 2003 était l'événement extrême le plus coûteux du fait de l'ampleur nationale, avec plus de 4 000 communes touchées. Les dégâts assurés ont été estimés à 1,83 milliard d'euros (actualisés). D'un point de vue assurantiel, les coûts des sécheresses se limitent aux dommages aux bâtis du fait du retrait-gonflement des argiles ou mouvements de sol (Bilan CatNat 1992-2017).

Les feux de forêts et de broussailles

Auteurs : Jean-Michel Soubeyroux,
Météo-France

Jérôme Duvernay,
MTES, DGEC/SCEE/ONERC

Les **feux de forêts** constituent un risque important en France avec des enjeux économiques forts. Du point de vue climatique, la caractérisation du risque feu de forêt s'appuie généralement sur le calcul de l'Indice feu météo (IFM). Cet indice caractérise, grâce à une valeur numérique, le danger météorologique d'incendie au pas de temps quotidien en synthétisant le danger d'éclosion et le danger de propagation. Plus la valeur de l'IFM est élevée, plus les conditions météorologiques sont propices aux incendies. Si cette méthode permet de bien caractériser l'évolution de la composante climatique du risque feu, il n'est cependant pas

1. <http://geoidd.developpement-durable.gouv.fr>

directement possible de relier une valeur donnée d'IFM à un niveau de risque. Une étude menée par Météo-France pour le CGEDD (Regimbeau et Cloppet, 2010) a utilisé la réanalyse SAFRAN (résolution 8 km) pour étudier la tendance de l'IFM sur la période 1958-2008 et comparer les périodes 1961-1980 et 1989-2008. Bien qu'en zone méditerranéenne, le nombre de feux ait diminué alors que l'indice augmentait, sur le moyen terme (1983-2008, fig. B9) et pour les moyennes, il y a corrélation entre le nombre annuel de départs de feux et la moyenne annuelle de l'IFM.

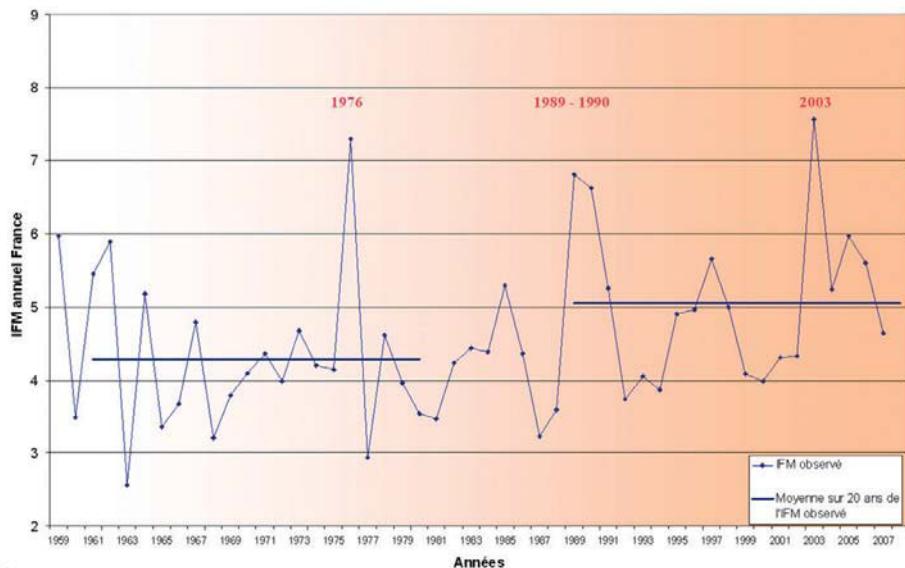


Figure B9 – Valeurs annuelles d'IFM moyen sur la France sur la période 1958-2008.

Il apparaît qu'en moyenne annuelle, quatre années se distinguent par un IFM moyen élevé : les années 2003, 1976, 1989 et 1990. On retrouve sans surprise quatre années marquées par des conditions chaudes et sèches. L'analyse sur la période estivale donne des résultats assez proches. Les quatre années avec l'IFM moyen estival le plus élevé sont, dans l'ordre, 1976, 2003, 1990 et 1962 (fig. B9). La confrontation des deux périodes met en lumière une hausse marquée de l'IFM moyen sur l'ensemble du territoire français. L'IFM a augmenté de 18 % sur la période. Cette étude a examiné également le nombre de jours par an avec dépassement de plusieurs seuils d'IFM dont la valeur 20 associée à un risque réel d'incendie. Le nombre de jours avec IFM > 20 augmente sur la quasi-totalité du territoire. Sur les régions Poitou-Charentes et Pays-de-la-Loire cette augmentation est comprise entre dix et vingt-cinq jours par an. Sur le pourtour méditerranéen, cette hausse dépasse cinquante jours par an, soit une augmentation sur l'année de la saison feu de l'ordre de sept semaines. La quasi-totalité de la Corse a connu au moins trente jours de plus par an avec IFM > 20. Cette augmentation est principalement observée durant l'été. On observe cependant que pour la région Pays-de-la-Loire c'est la période mars-avril-mai qui contribue le plus à la hausse constatée. Pour le pourtour méditerranéen et la Corse, la période automnale contribue de manière significative. Cela suggère un début plus précoce de la

saison des feux de forêt dans l'Ouest de la France et un prolongement automnal de la saison des feux dans le Sud-Est de la France. Sur la période 1961-1980, 38,6 % du territoire connaît au moins un jour tous les ans avec IFM > 20. Sur la période 1989-2008, 74,5 % du territoire connaît au moins un jour tous les ans avec IFM > 20. Cela représente un quasi-doublement de la superficie considérée par rapport à la période 1961-1980.

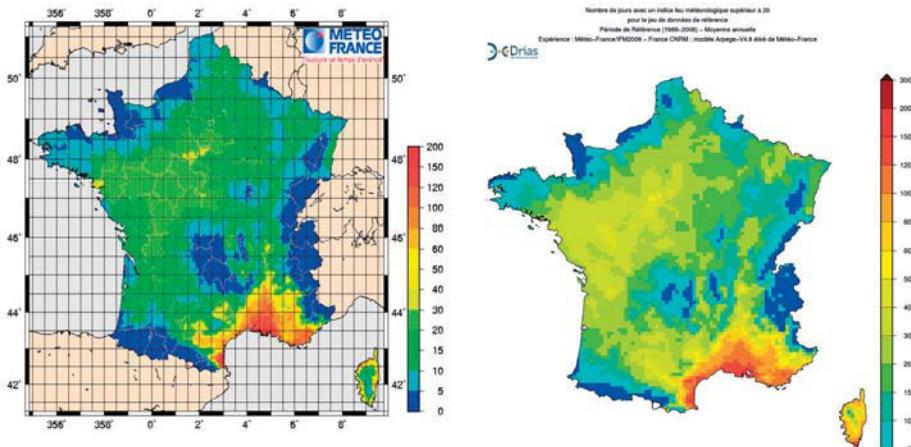


Figure B10 – Cartes du nombre moyen de jours par an avec un IFM > 20 pour les deux périodes d'études : 1961-1980 (carte de gauche) et 1989-2008 (carte de droite)

Source : Météo-France.

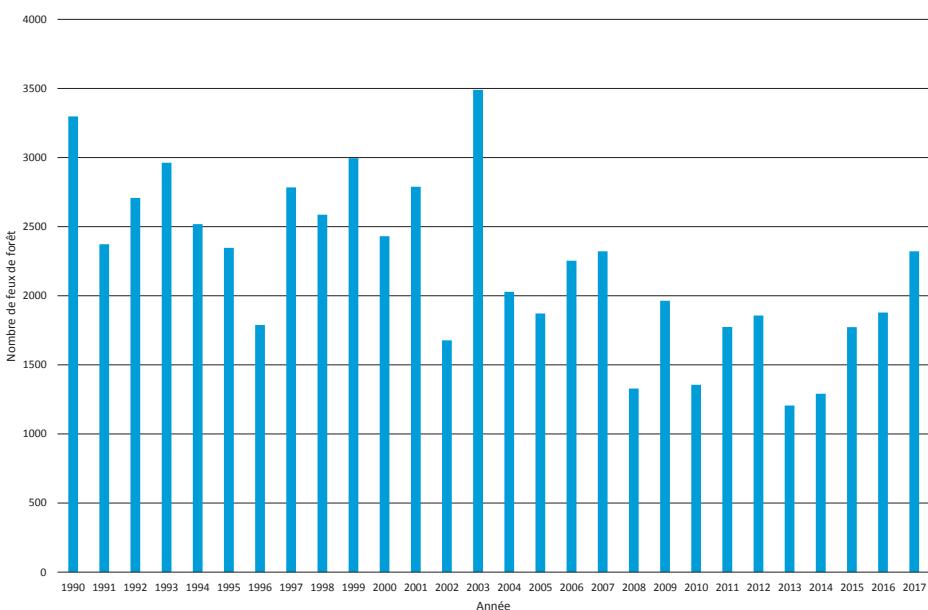


Figure B11 – Nombre de feux de forêt dans les départements du pourtour méditerranéen français

Source : ONERC d'après Base de données Prométhée.

Les précipitations extrêmes

Auteur : Jean-Michel Soubeyroux,
Météo-France

Dans un climat plus chaud, le GIEC (rapport 2013) indiquait qu'une augmentation du risque **de précipitations extrêmes** au cours du xx^e siècle était probable et un résultat équivalent a été établi pour la France (Ouzeau *et al.*, 2014). La caractérisation des tendances climatiques sur **les pluies intenses** à l'échelle d'un territoire est un enjeu primordial pour la prévention des risques hydrologiques mais elle s'avère particulièrement difficile du fait de leur forte variabilité spatiale et du nombre limité de données de qualité suffisante permettant d'en rendre compte, qu'il s'agisse de séries observées ou issues de modélisation. Une analyse (Soubeyroux *et al.*, 2015) de l'évolution des pluies extrêmes annuelles en région Méditerranéenne à partir de 700 séries locales a montré une prédominance de tendances à la hausse mais avec une confiance limitée du point de vue statistique (fig. B12).

Des travaux récents menés dans le cadre du projet Extremoscope ont permis de mettre au point un indicateur agrégé robuste basé sur les séries quotidiennes de précipitation permettant de caractériser à la fois la fréquence et l'intensité de ces pluies extrêmes (Ribes *et al.*, 2018).

En termes d'intensité (fig. B12a), une augmentation robuste de 22 % +/- 5 % est ainsi mise en évidence sur la période 1961-2015 (Vautard *et al.*, 2015; Ribes *et al.*, 2018). Cette augmentation est environ une à trois fois plus forte que celle qui est prédictive par l'augmentation de la température observée dans la région et la loi physique qui relie la quantité d'eau dans l'atmosphère à la température.

En termes de fréquence (fig. B12b), le nombre d'événements générant des cumuls de pluie supérieurs à 200 mm est également en hausse, significative du point de vue statistique depuis 2000.

Toutefois les autres régions françaises sont soumises à des pluies de nature différente. Par exemple, les forts cumuls qui ont pu être observés durant l'hiver 2013-2014 résultent d'une situation météorologique avec un flux persistant de sud-ouest apportant une répétition d'épisodes de pluies modérées. Les analyses du projet Extremoscope n'ont pas pu mettre en évidence une tendance marquée dans ce cas, tout comme dans le cas des pluies printanières ayant donné lieu à une crue importante de la Seine en juin 2016 (cf. p. 58).

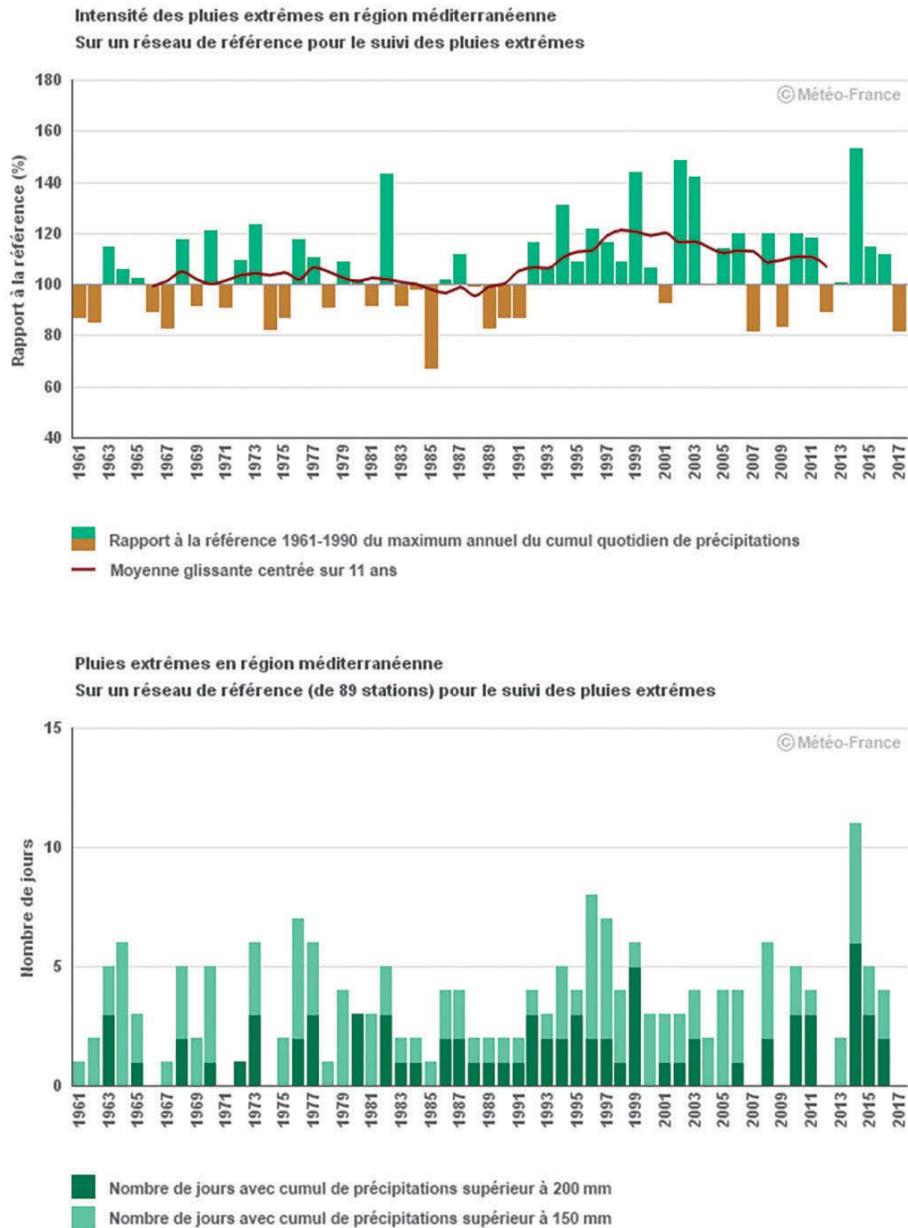


Figure B12a (haut) – Évolution du maximum annuel quotidien de précipitation sur les régions méditerranéennes depuis 1962; B12b (bas) : évolution de la fréquence d'épisodes de pluies extrêmes sur les régions méditerranéennes depuis 1962

Cyclones et tempêtes

Auteur : Jean-Michel Soubeyroux,
Météo-France

Les **tempêtes**, associées aux systèmes dépressionnaires très mobiles de l'Atlantique ou quasi-stationnaires en Méditerranée, font partie des extrêmes climatiques aux conséquences lourdes pour nos sociétés. Du fait de la combinaison de leurs effets (vents violents, action des vagues et submersion marine, pluies intenses) et de l'extension spatiale des zones affectées, les dégâts occasionnés sont fréquemment importants, tant en matière de vies humaines que de coûts économiques ou de dégâts sur l'environnement. À elles seules, les tempêtes Lothar et Martin de décembre 1999 ont fait en France métropolitaine 92 victimes et occasionné plus de 15 Md€ de dommages². La tempête Xynthia en février 2010 a durement touché plusieurs régions dont la façade Atlantique et conduit à des évolutions en matière de prévention des risques sur le littoral. Les tempêtes de l'hiver 2017 dont la tempête Zeus le 6 mars ou celles à répétition de janvier 2018 ont rappelé, en France et dans les différents pays du Nord de l'Europe, la vulnérabilité de nos sociétés face à ce type d'événement.

Du point de vue climatologique, les données fiables pour analyser les tempêtes étaient jusqu'à récemment assez limitées tant en résolution spatiale qu'en profondeur temporelle. Depuis fin 2016, une nouvelle base de données d'analyse des rafales de vent en France à haute résolution spatio-temporelle (2,5 km et 1 heure) permet de disposer de chroniques complètes des tempêtes depuis 1980³ et d'analyser les tendances en termes de nombre d'événements ou de sévérité (Soubeyroux et al., 2018).

Au niveau national (fig. B13), il apparaît que le nombre d'événements de tempêtes a fortement varié entre la période 1980 à 1995 et les années 1995 à 2015 (réduction de moitié du nombre d'événements). Il est cependant difficile d'attribuer cette évolution aux seuls effets du changement climatique, notamment du fait de l'influence de la variabilité de la circulation générale (oscillation multidécennale Atlantique et oscillation Nord Atlantique) sur l'activité des tempêtes sur le Nord de l'Europe et la France en particulier. La diminution de l'activité tempétueuse et, d'une manière générale, la baisse des vents de surface sur la terre est constatée dans un nombre croissant d'études et l'augmentation de la rugosité de la surface terrestre (urbanisation, augmentation des forêts) est citée comme un facteur d'explication probable (Vautard et al., 2010; McVicar et al., 2012; Wever, 2012).

En matière de **cyclones**, l'activité exceptionnelle de la saison cyclonique 2017 sur l'Atlantique Nord et notamment l'arc antillais (Chauvin et al., 2017) a interrogé sur la contribution éventuelle du changement climatique pour expliquer la répétition de ces événements et leur intensité. Mais si les climatologues disposent

2. www.georisques.gouv.fr

3. tempetes.meteo.fr

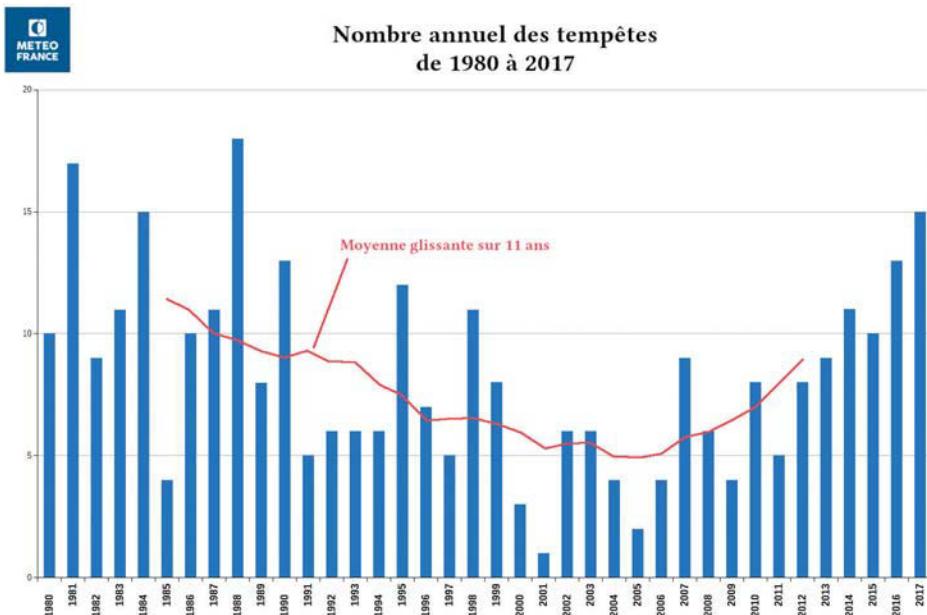


Figure B13 – Évolution du nombre de tempêtes observées en France métropolitaine de 1980 à 2017 (barre bleu) et moyenne glissante sur cinq ans (trait rouge) à partir de la base de données du site <http://tempetes.meteofrance.fr/>

d'observations sur les cyclones tropicaux depuis la fin du XIX^e siècle, surtout sur l'Atlantique, les bases de données fiables ne débutent au mieux que dans les années 1970 avec l'arrivée des satellites car ces phénomènes, naissant sur les océans, pouvaient passer inaperçus avant. Grâce à ces observations satellitaires et à des traitements automatisés systématiques pour caractériser les cyclones, les climatologues ont donc pu identifier des tendances fiables de l'activité cyclonique, de 1970 à nos jours.

On observe ainsi une augmentation de l'activité des cyclones tropicaux dans l'Atlantique nord depuis les années 1970 (Planton *et al.*, 2015). Leur fréquence semble augmenter plus fortement dans les années 2000. En 2005, on relève ainsi vingt-sept systèmes cycloniques contre une dizaine par an en moyenne. De même, la saison 2017 se distingue avec le nombre record d'ouragans majeurs (six événements de catégorie supérieure à 3 dont trois ouragans de catégorie 5, Irma, José et Maria). Mais, sur l'Atlantique nord en particulier, l'activité cyclonique varie naturellement selon des cycles de plusieurs dizaines d'années. Avec un recul d'une quarantaine d'années seulement, il est impossible de distinguer l'impact du changement climatique de la variabilité naturelle du phénomène.

Des travaux récents montrent que la latitude à laquelle les cyclones ont atteint leur intensité maximale a migré vers les pôles au cours des trente-cinq dernières années dans les deux hémisphères. Cette constatation est cohérente avec

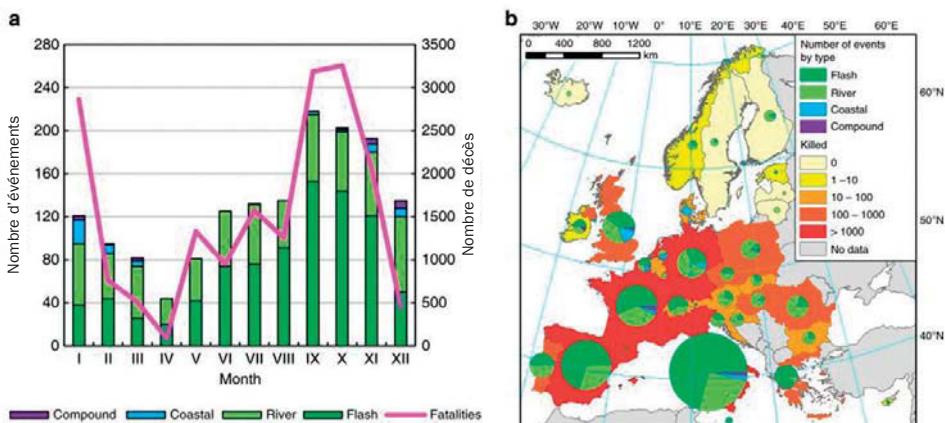
l'expansion observée de la ceinture tropicale au cours de cette période. La ceinture tropicale est une zone, confinée de part et d'autre de l'Équateur par de larges zones désertiques, dans laquelle règne un climat chaud et humide. Son extension est déterminée par la circulation atmosphérique. Depuis quelques décennies, on constate que cette zone s'élargit en direction des pôles dans les deux hémisphères. Plusieurs facteurs pourraient expliquer cette expansion (variabilité naturelle, ozone stratosphérique, réchauffement des températures de surface, changement dans le profil vertical des températures).

Inondations : crues lentes et crues rapides

Auteur : Florence Habets,

Université Pierre et Marie Curie

La France est impactée par les **crues rapides**, les **crues lentes** et les submersions côtières. La fréquence importante des crues rapides est associée à une forte mortalité (fig. B14, Paprotny et al., 2018).



Ces différents types de crues sont associés à des phénomènes météorologiques différents : précipitations intenses pour les crues rapides, longues périodes humides pour les crues lentes, tempête pour les submersions côtières. Cela se traduit notamment par des dates d'occurrence de ces événements qui varient dans l'espace, comme illustré fig. B15. L'étude de la date d'occurrence du débit maximum annuel montre des changements dans la dynamique de ces maximums annuels avec des zones comme la Bretagne où le pic se produit plus tôt qu'avant, et d'autres comme la plaine de la Garonne où il arrive plus tard (Bloschl et al., 2017).

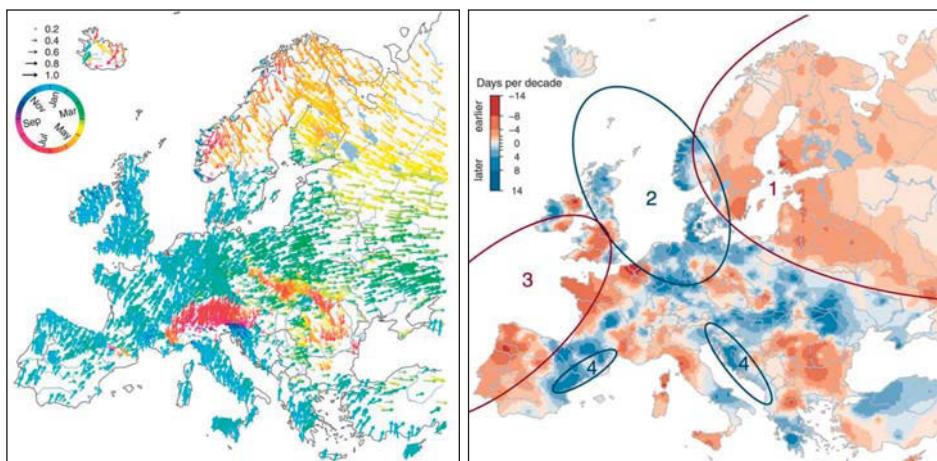


Figure B15a (gauche) – Dates d'occurrence des maximums de débits annuels en Europe entre 1960 et 2010; (droite) évolution de la date d'occurrence des maximums entre 1960 et 2010, exprimée en nombre de jours par décennie

Chaque flèche représente une station hydrométrique. La direction et la couleur indiquent la date moyenne d'occurrence, tandis que la longueur indique la concentration des crues à une période donnée (courte : très dispersée dans le temps, longue : très concentrée dans le temps).

Source : Bloschl *et al.*, 2017.

Un type particulier de crues lentes est celle causée par débordement de nappe. Un cas exemplaire est celui du bassin de la Somme en 2001, pour lequel des maisons ont été inondées pendant plusieurs mois (Négrell et Petelet-Giraud, 2005). Une analyse historique (fig. B16) des niveaux des nappes sédimentaires de la moitié nord de la France par modélisation permet, via l'utilisation d'un indice standardisé du niveau piézométrique, d'estimer l'extension et l'intensité des épisodes où les niveaux de la nappe sont très hauts (au-delà d'une période de retour de dix ans en chaque point). Les années 2000 et 2001 apparaissent effectivement comme des années extrêmes sur une grande partie des aquifères sédimentaires étudiés.

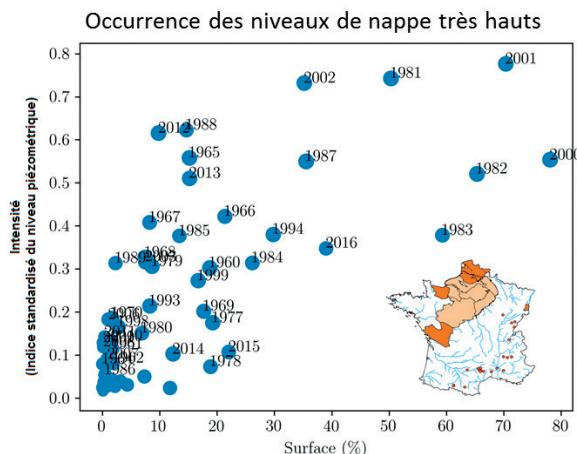


Figure B16 – Surface (abscisse) et intensité (ordonnée) de l'occurrence des hauts niveaux de nappe (période de retour de dix ans), en moyenne sur les aquifères présentés sur la carte

Résultats issus du projet Aqui-FR
www.metis.upmc.fr/~aqui-fr

En 2015, le risque d'inondation a contribué à hauteur de 104 milliards de dollars américains aux pertes annuelles moyennes mondiales. En France, et sur la période couvrant 1982 à 2017, le coût moyen annuel des inondations est estimé à 526 M€/an. Les inondations de la Seine et de la Loire de 2016 ont coûté de l'ordre du milliard d'euros.

Les laves torrentielles

Auteur : Vincent Jomelli,

Institut national de recherche en sciences
et technologies pour l'environnement et l'agriculture

Les laves torrentielles constituent un phénomène complexe pour au moins trois raisons :

- d'un point de vue statistique, il s'agit d'un événement rare qui se produit parfois selon une fréquence pluridécennale ;
- le déclenchement de ce type de processus dépend des conditions climatiques et géomorphologiques (pente, végétation, lithologie, etc.) qui sont interconnectées ;
- les conditions de déclenchement sont souvent liées à des phénomènes climatiques extrêmes eux-mêmes encore mal compris.

Deux conditions sont nécessaires au déclenchement des laves torrentielles (Caine, 1980 ; Johnson et Rodine, 1984 ; Van Steijn, 1996 ; Iverson, 1997) : d'une part des précipitations de longue durée ou de forte intensité et d'autre part un grand volume de débris rocheux mobilisable. En règle générale, un épisode de pluie intense déclenche ce processus (Guzzetti et al., 2008), bien que des laves torrentielles aient été également provoquées par la libération soudaine d'eau stockée sous un glacier, par la rupture d'un barrage morainique ou encore par la fonte rapide de neige (Evans et Clague, 1994). La relation entre le déclenchement des laves torrentielles et les caractéristiques des pluies a été étudiée à de nombreuses reprises depuis les travaux pionniers de Caine (1980). Cet auteur et d'autres par la suite ont montré que plus l'intensité des pluies est forte, plus la durée de ces averses est courte (Marchi et al., 2002 ; Guzzetti et al., 2008 ; Berti et al., 2012, Pavlova et al., 2014, Bel et al., 2017). En revanche, si l'importance du volume de débris stockés dans le chenal est connue depuis longtemps (Statham, 1976), cet aspect reste encore à explorer en profondeur (Pech et Jomelli, 2001). Ce volume de débris peut provenir soit d'accumulations morainiques (Haeberli et al., 1990 ; Rickenman et Zimmermann, 1993), soit de débris gélifractés accumulés dans un couloir ou au sommet d'un dépôt de pente (Pech et Jomelli, 2001) par gravité ou transportés par une avalanche (Theule et al., 2012).

L'importance du synchronisme spatio-temporel entre les fortes pluies et un volume de débris stockés a déjà été soulignée à plusieurs reprises (notamment Pech et Jomelli, 2001 ; Malet et al., 2005 ; Bel et al., 2017). En d'autres termes, si une lave torrentielle est déclenchée, la probabilité de déclenchement les mois ou les années suivantes sera faible même si de fortes pluies sont observées car, si

le volume stocké dans le chenal a été totalement mobilisé au cours du premier événement, plusieurs années seront *a priori* nécessaires pour sa reconstitution.

Les liens entre les laves torrentielles et le contexte géomorphoclimatique :

De nombreuses études visant à documenter l'activité des laves torrentielles dans différentes régions montagneuses ont révélé une forte variabilité spatio-temporelle, des bassins versants étant plus actifs que d'autres. On a donc cherché à identifier les facteurs géomorphologiques ayant un impact important sur l'activité des laves (Thiery et al., 2007 ; Capitani et al., 2013). En général, l'approche consistait à explorer les relations statistiques entre l'apparition de laves et une ou plusieurs variables géomorphologiques explicatives décrites à l'échelle du bassin-versant ou à une échelle plus régionale. Parmi ces variables clés, les caractéristiques géologiques du bassin-versant (lithologie ou présence d'une faille tectonique) ont été soulignées (Lorente et al., 2002 ; Jomelli et al., 2007 ; Cheng et al., 2016). La taille du bassin-versant et sa pente sont également considérées comme des variables influant la fréquence ou l'intensité du processus, tout comme le type de végétation ou l'utilisation du sol (Jianzhong et al., 2013).

La variabilité des conditions météorologiques est également à prendre en compte. Comme mentionné précédemment, la présence de laves torrentielles est, dans la plupart des cas, liée à des pluies de longue durée ou intenses. Or les cumuls précipités de pluie et/ou de neige ainsi que la fréquence des événements extrêmes varient dans le temps. Certaines périodes peuvent donc être plus favorables que d'autres au déclenchement de ce type de processus. Ainsi, une activité accrue a été observée en Europe occidentale pendant les périodes humides de l'Holocène (Blikra et Nemec, 1998 ; Matthews et al., 2009). L'impact du changement climatique actuel sur l'activité des laves a également été étudié (Jomelli et al., 2004 ; Wieczorek et Glade 2005 ; Pavlova et al., 2014 ; Savi et al., 2016), révélant le plus souvent un accroissement de l'occurrence.

Les liens entre les conditions géomorphologiques et météorologiques/climatiques responsables du déclenchement des laves doivent également être considérés. Par exemple, le seuil de précipitations déclenchant les laves dépend des caractéristiques du sol qui contrôlent la saturation et la pression interstitielle (Peruccacci et al., 2012). L'activité des laves dépend également du volume de sédiments pouvant être mobilisé dans le bassin-versant. Ce volume est directement influencé par des variables géomorphologiques telles que la lithologie (Hung et al., 2005 ; Mc Coy et al., 2012), mais ce stock varie également selon un cycle saisonnier et connaît une variabilité interannuelle qui dépend du climat (Theule et al., 2012).

Pour étudier les relations entre le fonctionnement des laves torrentielles et le climat actuel, deux échelles spatiales doivent être considérées : celle du bassin-versant expérimental très bien instrumenté (Bel et al., 2017), et l'échelle régionale (Pavlova et al., 2012). Les deux approches ont leurs avantages et leurs inconvénients, raisons pour lesquelles elles doivent être utilisées de concert. Rappelons ici brièvement les principaux résultats issus de ces observations en commençant tout d'abord par les bassins-versants expérimentaux.

- *L'échelle du bassin-versant expérimental*

Nos connaissances sur le déclenchement des laves torrentielles ont été largement améliorées grâce aux observations réalisées depuis huit ans dans le bassin-versant expérimental du Réal situé dans les Préalpes françaises du Sud à proximité du village de Péone dans le département des Alpes-Maritimes. Ce bassin-versant de 2,3 km², très actif, végétalisé à plus de 70 %, a été équipé de trois stations de mesures comprenant chacune un géophone, des capteurs de hauteur d'eau, une caméra, et un pluviomètre (Navratil, et al., 2013). Ce système a permis d'identifier plus d'une trentaine d'événements dont certains n'ont pas atteint la partie basse du bassin-versant. Grâce à ces observations, on sait que ces écoulements se produisent principalement en été (43 %) et au printemps (40 %), et plus rarement à l'automne (10 %), et en hiver (5 %).

Ce dispositif de mesures a aussi permis d'étudier finement les relations intensité-durée (I/D) des pluies responsables d'un déclenchement de lave. Ce seuil I/D varie quelque peu selon le volume de sédiments mobilisés et les distances parcourues (Bel et al., 2017). Une augmentation systématique du seuil I/D a été constatée avec la surface de drainage. Grâce à ces observations un seuil d'intensité/durée des précipitations en fonction des caractéristiques des événements pluvieux a été défini. Les conditions météorologiques propices au déclenchement des laves ont été identifiées et ont été ensuite comparées aux autres types d'écoulements. Dans le bassin-versant, les laves sont déclenchées après des pluies de forte intensité pendant quelques minutes, combinées à de forts cumuls le jour de l'événement et les deux jours précédents. Les valeurs d'intensité déclenchant les laves varient en fonction de la saison. Celles-ci sont généralement comprises entre 10 mm au printemps et plus de 40 mm pour les autres saisons.

Les précipitations ayant eu lieu les jours précédant le déclenchement apparaissent être un facteur pertinent pour différencier les laves des autres types d'écoulements. Pour ces dernières, un cumul de précipitations compris entre 8 et 30 mm s'avère être un seuil au-delà duquel les laves se déclenchent. Les laves torrentielles immatures se produisent après des épisodes pluvieux intenses et de courte durée, combinés à des cumuls journaliers relativement faibles. Les écoulements à charge de fond se produisent, eux, après de fortes pluies d'intensité modérée.

Ces observations des processus en temps réel réalisées dans des bassins-versants expérimentaux permettent aussi d'améliorer nos connaissances sur la physique de l'écoulement afin de développer des modèles déterministes et d'estimer des distances d'arrêt (Laigle et Marchi, 2000 ; Mallet et al., 2005 ; Remaitre et al., 2008).

Au total, ce type de dispositif est indispensable pour comprendre finement le fonctionnement des processus. Il doit donc être maintenu sur la durée et reproduit dans d'autres contextes environnementaux (végétation, lithologie, climat) pour saisir leurs effets sur le déclenchement et le fonctionnement des laves. Ces observations doivent également être combinées à des observations réalisées, cette fois, à une échelle spatiale plus large présentée ci-dessous.

● L'échelle régionale

Pour étudier les causes des variations de l'activité des laves torrentielles, il faut disposer d'observations permettant de satisfaire deux conditions :

- une longue période de temps pour détecter potentiellement un changement significatif dans l'activité du processus et du climat ;
- un large territoire pour prendre en compte les variations spatiales liées aux caractéristiques du bassin-versant, par exemple la lithologie.

On bénéficie, en France, d'un réseau d'observations de laves torrentielles réalisées par les agents du RTM (Office national des forêts – restauration des terrains en montagne) en partenariat avec l'IRSTEA sur l'ensemble du territoire alpin (Brochot et al., 2002). Ces données uniques, couvrant plusieurs décennies, présentent néanmoins certaines faiblesses rappelées ici. Le recensement ayant lieu au pied des bassins-versants, il s'agit d'un nombre minimal d'événements au regard des observations réalisées dans le bassin-versant expérimental du Real par exemple. Les événements géo-référencés sont documentés au pas de temps journalier le plus souvent. Par ailleurs, bien que réalisée par des spécialistes, l'identification des types d'écoulement est parfois délicate *a posteriori*. Toutefois, ces observations apportent un éclairage nouveau et essentiel à la compréhension des laves torrentielles dont quelques exemples sont présentés ici. Dans les hauts bassins-versants du Drac, de l'Isère et de la Durance des relations intensité-durée des précipitations ont été proposées à partir d'observations météorologiques et des réanalyses SAFRAN (Pavlova et al., 2011; 2012; 2014). Toutefois, la faible densité du réseau d'observation météorologique rend peu pertinent ce type d'approche I/D à cette échelle spatiale. En effet, de très nombreux événements ont été déclenchés sans que des précipitations aient été mesurées à proximité, les stations météorologiques étant le plus souvent situées à basse altitude et parfois distantes de plusieurs kilomètres du bassin-versant considéré. Dans ces secteurs, une approche fondée sur une modélisation probabiliste s'est avérée plus pertinente pour identifier les conditions météorologiques/climatiques propices au déclenchement des laves à partir de variables mesurées au pas de temps journalier ou mensuel cette fois (Pavlova et al., 2014). Le nombre de jours de pluies entre le 15 mai et le 15 octobre ainsi que la moyenne des températures maximales sont les deux variables qui se sont avérées être les mieux corrélées au déclenchement des laves à une échelle régionale (Pavlova et al., 2014) (fig. B17). Ces longues séries événementielles sont de qualité variable dans le temps et l'espace, raison pour laquelle une pseudo-homogénéisation a été testée avec succès (Jomelli et al., 2015). Ces longues séries corrigées ont permis de détecter une augmentation de l'occurrence des laves au cours de ces dernières décennies en lien avec le climat (Jomelli et al., 2007; 2015). Cette base de données événementielles a aussi permis de caractériser la plupart des bassins-versants et déterminer ainsi dans lesquels les laves se produisent plus favorablement que d'autres types d'écoulements concentrés en s'appuyant sur l'indice de Melton (Bertrand et al., 2013).

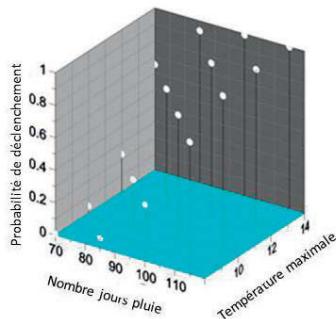


Figure B17 – Probabilité de déclenchement des laves torrentielles dans les Alpes françaises du Nord à partir de SAFRAN (1970-2005)

Source : d'après Pavlova et al., 2014.

Par ailleurs, ces investigations, conduites sur un large territoire, ont permis de montrer que les relations entre les laves torrentielles et le climat n'étaient pas univoques mais dépendaient fortement du contexte géomorphologique comme la lithologie, l'altitude et la taille de la zone amont qui a une forte influence sur la fréquence et le temps de retour de ces laves (Jomelli et al., 2007). Une remontée en altitude de la zone de déclenchement des laves torrentielles a ainsi pu être mise en évidence liée à l'augmentation des températures. De plus, à basse altitude (< 2 200 m), le nombre de laves a diminué depuis les années 1980, alors qu'une augmentation significative a été observée en altitude (Jomelli et al., 2004).

À cette échelle spatiale, le contexte géomorphologique peut être considéré dans la relation climat/déclenchement des laves. Sur le plan méthodologique, les modèles déterministes peuvent prendre en compte simultanément les variables environnementales et climatiques dans l'évaluation de l'activité des laves torrentielles. Par exemple, les modèles de stabilité des pentes utilisent des variables géotechniques pour définir la sensibilité du sol aux écoulements en fonction des précipitations. Cependant, ces modèles sont généralement appliqués aux bassins-versants présentant des caractéristiques environnementales homogènes situées dans la même zone climatique, afin de réduire la difficulté de la modélisation. Les approches à partir d'analyses statistiques utilisent généralement des données couvrant un large territoire impliquant une grande variabilité environnementale et climatique. Mais ici aussi, pour réduire la complexité de l'analyse, les prédicteurs environnementaux et climatiques sont le plus souvent considérés séparément. Récemment une modélisation bayésienne hiérarchique a permis de montrer que le climat joue un rôle déterminant lorsque l'activité des bassins-versants est homogène (au moins une lave déclenchée par décennie). À l'inverse c'est la lithologie qui s'avère être la variable la plus discriminante pour expliquer la raison pour laquelle certains bassins-versants sont très actifs tandis que d'autres le sont peu (Jomelli et al., 2018, submitted).

Les avalanches

**Auteurs : Nicolas Eckert, Thierry Faug,
Florie Giacona, Jérôme Lopez-Saez,
Mohamed Naaim,**

Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture/université Grenoble Alpes

Christophe Corona,
GEOLAB, Centre national de la recherche scientifique, Clermont-Ferrand

Samuel Morin,
Météo-France, Centre d'étude de la neige, Grenoble

Quelques résultats statistiques sur les observations des avalanches pour les dernières décennies dans les Alpes françaises.

L'Enquête permanente sur les avalanches (EPA) constitue une base de données quasi instrumentale qui répertorie les avalanches sur près de 3000 couloirs des Alpes depuis le début du xx^e siècle. Les observations qui y sont consignées ont pour l'instant été analysées surtout sur la période post-Seconde Guerre mondiale, au cours de laquelle elles sont plus systématiques. En matière de nombre d'avalanches, malgré une forte variabilité interannuelle, un maximum relatif d'activité a pu être identifié autour de 1980, suivi par une décroissance (fig. B18a, Eckert *et al.*, 2010). Une tendance similaire se retrouve, de manière amplifiée et inversée, dans les altitudes d'arrêt atteintes par les avalanches (fig. B18b), et plus encore dans les altitudes d'arrêt atteintes par les grandes avalanches, qui remontent nettement depuis 1980 (fig. B18c). Une autre tendance significative est la diminution nette et régulière de la proportion d'avalanches avec aérosol depuis le début des années 1970, époque à partir de laquelle cette information est enregistrée dans l'EPA (fig. B18d).

L'augmentation relative de l'activité avalancheuse sur la période 1960-1980 a coïncidé avec des hivers plus froids et neigeux, par ailleurs bien documentés par d'autres indicateurs (courtes avancées glaciaires notamment). Le « recul des avalanches » accompagné d'une diminution de la proportion des avalanches avec aérosol qui s'est produite ensuite coïncide quant à lui avec une période de réchauffement marqué (Castebrunet *et al.*, 2012).

Le lien entre altitude d'arrêt des avalanches et température a pu être mis en évidence de manière explicite au travers de corrélations entre les frottements qui contrôlent la dynamique des avalanches et les propriétés physiques de la neige. Sur les couloirs bien documentés de la haute vallée de l'Arve, il a pu être montré que le coefficient de frottement de la neige augmente avec la température de la neige (Naaim *et al.*, 2013). Ce résultat suggère que la remontée en altitude des positions d'arrêt des avalanches depuis 1980 peut effectivement être attribuée, au moins en partie, à l'augmentation des températures hivernales.

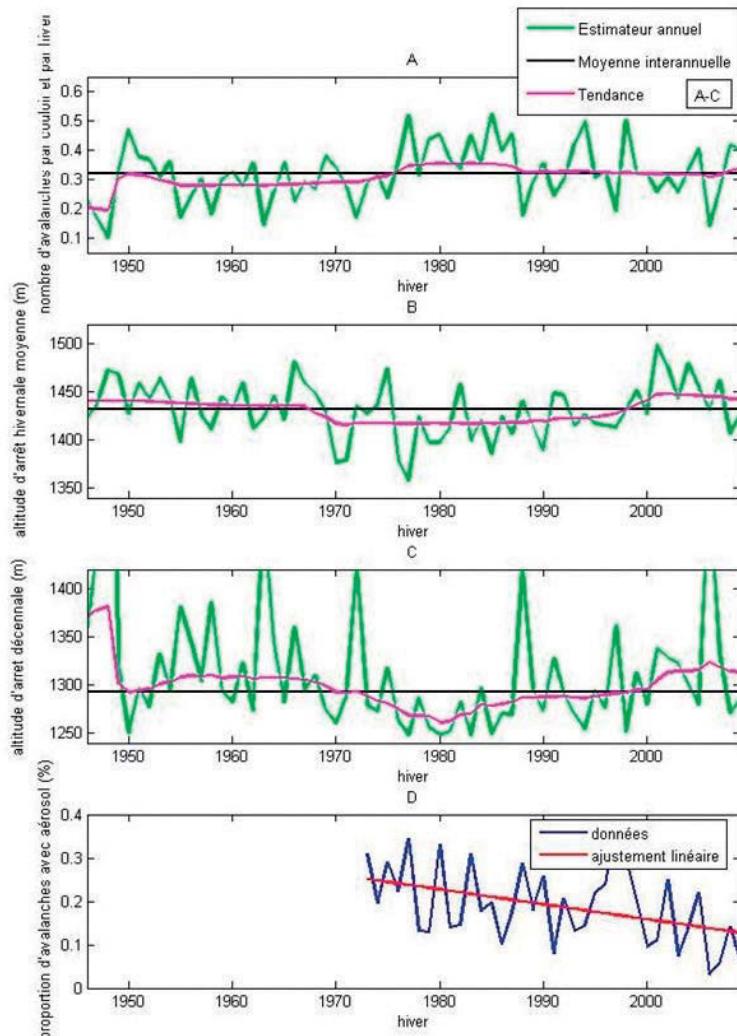


Figure B18 : évolutions récentes de l'activité avalancheuse dans les Alpes françaises, enregistrée par l'EPA. a) nombre moyen d'avalanches par couloir et par an; b) altitude d'arrêt moyenne annuelle; c) altitude d'arrêt décennale (niveau de retour); d) proportion d'avalanches avec aérosol (incluant les écoulements mixtes)

Ce schéma global simple masque en réalité des évolutions différencierées fortement contrôlées par l'altitude. À basse altitude (approximativement en dessous de 1 500 m), la diminution de l'activité avalancheuse depuis 1980 environ a été drastique, en lien avec la forte réduction de l'enneigement induite par le réchauffement du climat. Au contraire, à plus haute altitude, l'activité a récemment augmenté depuis 1980 (Lavigne et al., 2015), peut-être sous l'effet de l'accroissement de la variabilité climatique hivernale et de l'activité avalancheuse de neige humide

sur laquelle on reviendra. Cette tendance concerne en particulier les massifs du sud des Alpes françaises qui ont, en moyenne, une altitude plus élevée que ceux situés au nord des Alpes françaises et sont soumis conjointement aux influences climatiques méditerranéennes et atlantiques.

Ailleurs et/ou sur des périodes plus longues :

Pour réellement appréhender le lien avalanche-climat, il est nécessaire de s'intéresser à des périodes temporelles plus longues, incluant des époques où le climat était clairement différent des conditions actuelles. Des données paléo-environnementales suggèrent ainsi qu'au Petit âge glaciaire (PAG)⁴, des avalanches majeures se sont produites dans des endroits où l'activité a été bien moins intense durant les dernières décennies. Ces évolutions pluriséculaires ont pu être documentées en Scandinavie au moyen d'une approche lichénométrique qui utilise l'âge des lichens pour déterminer la fréquence des remaniements dans les zones d'arrêt d'avalanches. Dans les montagnes européennes et en Amérique du Nord, l'approche dendrogéomorphologique, basée sur l'identification et la datation des perturbations de croissance liées aux avalanches dans les cernes de croissance de vieux peuplements forestiers, a été utilisée. La plus ancienne chronique avalancheuse actuellement reconstruite remonte jusqu'au XIV^e siècle dans le massif du Queyras. L'interprétation climatique de telles séries reste toutefois difficile du fait du caractère limité de la quantité de données ainsi reconstruites et des biais inhérents à la méthode (perte de mémoire avec le temps, etc.).

Les proxies sont utilement supplémentés par l'analyse des archives historiques, qu'il convient toutefois de replacer dans leur contexte avec précision (qualité et origine des sources, évolutions du vocabulaire, etc.). Dans cette optique, les massifs français de moyenne montagne (Massif vosgien, Massif central, Jura) constituent des sites d'étude privilégiés. L'altitude des zones de départ d'avalanche correspond à l'altitude moyenne de la limite pluie/neige durant la saison hivernale, ce qui les rend particulièrement sensible au réchauffement. Des travaux récents basés sur une analyse historique suggèrent ainsi une quasi-extinction de l'activité avalancheuse de basse altitude au cours de la seconde moitié du XIX^e siècle dans le Massif vosgien, période qui coïncide avec la sortie du PAG. Toutefois, les sources historiques étant généralement étroitement associées à la vulnérabilité, donc aux dégâts causés par les avalanches, elles ne permettent pas à elles seules de renseigner l'évolution de l'aléa naturel. Des investigations supplémentaires associant données historiques, proxies, études diachroniques des usages des sols et différents outils de simulation climatique restent donc à mener pour confirmer et, si possible, généraliser ces premiers résultats relatifs à l'évolution séculaire de l'activité avalancheuse avec le climat.

4. Le Petit âge glaciaire (PAG) est une période climatique froide survenue en Europe et en Amérique du Nord du début du XIV^e à la fin du XIX^e siècle approximativement.

Lien entre les changements déjà observés et les activités humaines

Auteurs : **Serge Planton,**

Météo-France

Robert Vautard,

IPSL

De nombreux événements météorologiques ou climatiques extrêmes ont ponctué la dernière décennie en France (voir Partie précédente). Ces phénomènes ont parfois été « sans précédent connu », comme la vague de chaleur de 2003 engendrant des impacts nouveaux auxquels la société n'était pas préparée. S'il est difficile de relier directement ces événements au changement climatique, en revanche, les projections climatiques pour le milieu ou la fin du siècle montrent une évolution de la fréquence ou de l'intensité de plusieurs types d'événements (vagues de chaleur, sécheresses, précipitations intenses notamment) sans montrer de signal significatif pour d'autres (tempêtes notamment).

Dès lors plusieurs questions générales se posent chaque fois qu'un événement se produit :

Cet événement, ou bien l'évolution de ses caractéristiques, sont-ils seulement d'origine naturelle ou en partie liés aux activités humaines ? Comment les phénomènes observés peuvent-ils se comparer aux projections du climat futur ?

Les réponses à ces questions sont cruciales pour anticiper les risques à venir et préparer les politiques d'adaptation liées aux extrêmes. En effet, les événements extrêmes engendrent des dommages importants de façon transversale et simultanée dans différents secteurs de l'économie, de la santé ou de l'environnement. Ils ont parfois servi de déclencheurs de nouvelles politiques d'adaptation (ex. : le Plan national canicule en 2003). Une meilleure compréhension et interprétation des causes de ces aléas dans un cadre climatique évolutif permettraient de mieux les anticiper au lieu de subir leurs conséquences.

Le lien au changement climatique pour la plupart de ces événements reste à étudier. Pourtant nous ne partons pas de rien. En effet, d'une part, un nombre croissant d'études s'intéressent actuellement à la **détection** et à l'**attribution** des changements climatiques, des événements extrêmes et de leurs conséquences éventuelles. Il s'agit de déterminer si l'évolution des statistiques (fréquence, amplitude) d'un type d'événement (par exemple la probabilité d'observer une vague de chaleur ou la fréquence de précipitations intenses) peut être expliquée par la seule variabilité interne du climat, et, si ce n'est pas le cas, d'évaluer les contributions au changement détecté de différents facteurs externes, qu'ils soient anthropiques (par exemple les gaz à effet de serre ou les particules de pollution atmosphérique) ou naturels (par exemple l'activité solaire ou volcanique). Les méthodes actuelles

reposent souvent sur la comparaison de simulations climatiques avec et sans les facteurs suspectés, et leur cohérence avec les observations.

D'autre part, plus récemment, l'attention s'est portée sur l'attribution d'événements singuliers. Il s'agit dans ce cas d'étudier spécifiquement un événement observé et d'estimer comment les facteurs externes ont pu modifier la probabilité d'occurrence des événements du même type. Le terme d'attribution est ici à manier avec prudence, car il ne s'agit pas d'affirmer que l'événement n'aurait pas eu lieu en l'absence du forçage anthropique, par exemple, mais d'indiquer s'il est devenu plus ou moins probable à cause de ce forçage.

Sont résumés ici quelques résultats obtenus par le projet Extremoscope⁵ (Gasparrini, 2017). Les événements extrêmes étudiés ici étaient ceux pour lesquels les données historiques sont disponibles, homogènes et fiables (vagues de chaleur, vagues de froid, sécheresses ou précipitations intenses).

Pendant le déroulement du projet, de novembre 2013 à octobre 2016, six événements météorologiques et climatiques particulièrement marquants qui se sont produits en France ont été retenus pour l'analyse. Trois se rapportent à des événements pluvieux et trois à des épisodes chauds, mais aussi secs pour l'un d'entre eux. Par la suite, d'autres phénomènes ont pu également être étudiés dans le cadre de la nouvelle « Convention services climatiques » soutenue par le ministère de la Transition écologique et solidaire.

Nous donnons ici une courte synthèse de l'étude de chacun des six événements analysés pendant le projet Extremoscope. Quelques figures choisies pour deux des six cas permettent d'illustrer le type de visualisation pouvant être produit pour caractériser chaque événement et son lien avec le changement climatique.

● *Les pluies intenses de l'hiver 2013-2014*

Les cumuls de pluie de l'hiver 2013-2014 ont dépassé les records des cinquante dernières années sur la Bretagne où ils ont engendré des inondations majeures (fig. B19). Cet événement est dû à la persistance d'une circulation atmosphérique avec des vents de sud-ouest, chargés d'humidité. Les simulations climatiques régionales reproduisent difficilement les forts cumuls sur l'hiver, et ne montrent pas de changement significatif des propriétés des extrêmes depuis 1971. Il est donc impossible, avec les résultats obtenus ici, de conclure à un changement dû aux activités humaines pour ce type d'extrême.

5. Programme GICC, MTES/CGDD/DRI/SR.

Cumul mensuel des précipitations agrégées Bretagne

les mois de janvier 1959 à 2017

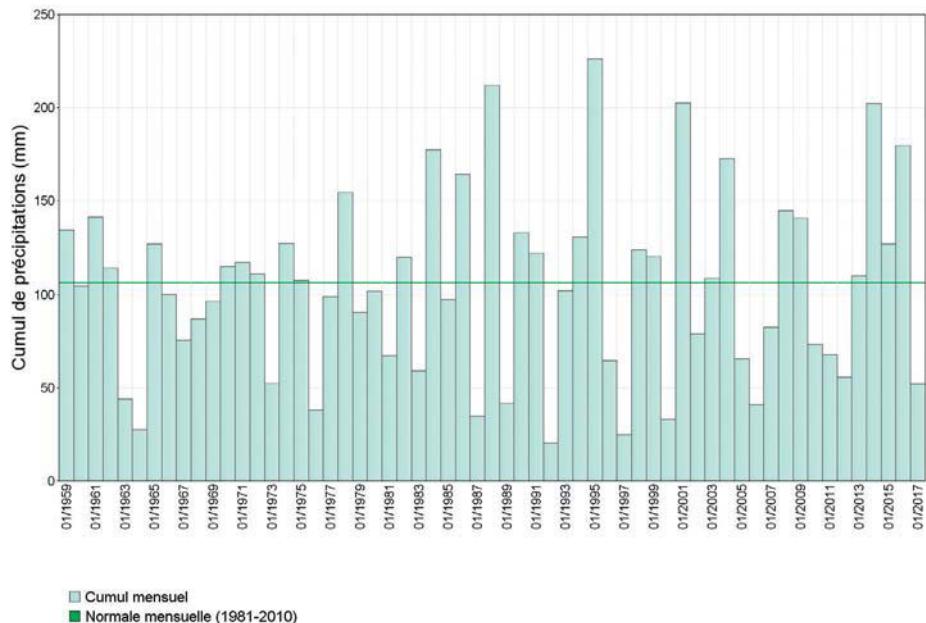


Figure B19 – Caractérisation du caractère exceptionnel des précipitations de l'hiver 2013-2014 avec l'indicateur agrégé de précipitations à l'échelle de la région Bretagne calculé sur la période 1959-2017 (cumul moyen sur la zone)

Source : Extremoscope.

- *Les pluies Cévenoles de l'automne 2014*

Les pluies journalières les plus fortes sur le pourtour méditerranéen ont une amplitude qui a augmenté de 20 % environ (incertitude $\pm 15\%$) entre 1960 et aujourd'hui. En automne, sur les Cévennes, la probabilité de dépasser aujourd'hui des seuils élevés (300 mm/jour), comme ceux observés en 2014, a environ triplé en soixante-cinq ans (Vautard et al., 2015). Il est difficile d'expliquer ces tendances sans invoquer l'influence humaine sur le climat. Une nouvelle étude très récente (Luu et al., 2018) a permis de montrer que les simulations réalisées dans le cadre du projet EURO-CORDEX, intégrant les émissions anthropiques, ont des tendances équivalentes, cohérentes avec les observations, tout en sous-estimant les cumuls de précipitations. L'origine humaine de cette augmentation est donc probable.

- *La vague de chaleur et la sécheresse de l'été 2015*

L'été 2015 est le troisième été le plus chaud observé en France, après 2003 (+ 3,2 °C), 2018 (+ 2 °C). Il a notamment été marqué par deux vagues de chaleur en juillet. L'anomalie de température a été accompagnée d'une anomalie anticyclonique sur l'Europe. L'été 2015 a été étudié à travers deux méthodes de détection et attribution. Si les deux méthodes s'accordent pour dire que le changement climatique a augmenté l'intensité de cette vague de chaleur, elles diffèrent quant à leur quantification de cette augmentation. La méthode des analogues de circulation conduit à une augmentation de 1,1 °C tandis que la méthode basée sur des simulations régionales attribue 0,3 °C au changement climatique. Par ailleurs, une étude récente s'est focalisée sur le déficit en précipitation au cours du même été (Hauser et al., 2017). La variabilité des résultats entre les différents modèles n'a pas permis de conclure à un signal significatif des activités humaines pour ce paramètre.

- *Le record de chaleur de décembre 2015*

Le mois de décembre 2015, le plus chaud jamais observé en France (fig. B20), a été étudié à partir de plusieurs méthodes afin de déterminer le rôle éventuel

Températures et précipitations en décembre de 1959 à 2017

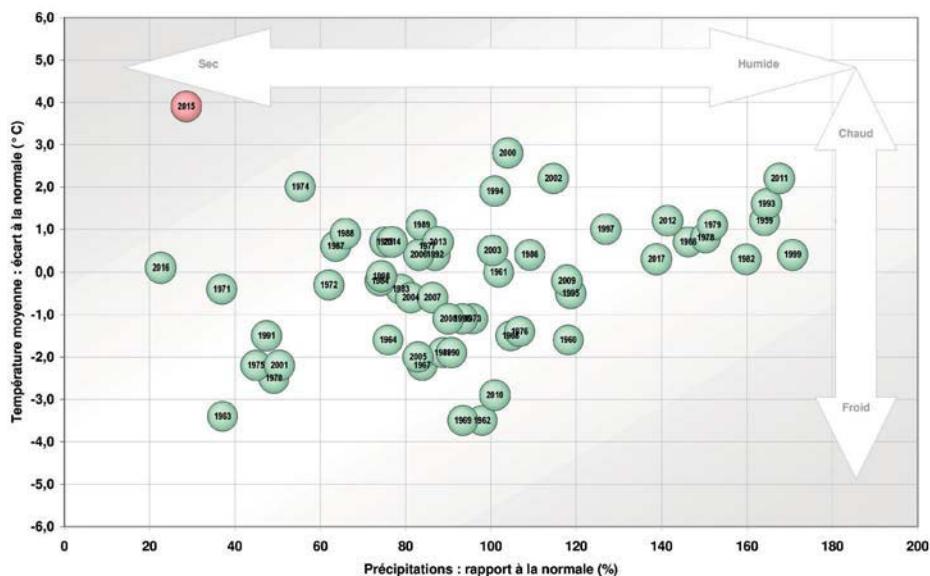


Figure B20 – Caractérisation des mois de décembre en France en rapport à la normale (moyenne 1981-2010) pour les précipitations en pourcentage de cette normale (axe des abscisses) et écart à la normale des températures en degré Celsius (axe des ordonnées)

Source : Météo-France.

du changement climatique dans son apparition. Les températures élevées sont largement dues aux vents de sud soufflant au cours du mois, mais l'intensité de cet événement est $0,25^{\circ}\text{C}$ à $0,6^{\circ}\text{C}$ plus élevée que ce qu'elle aurait été avec les mêmes vents dans un climat avec moins de gaz à effet de serre. Les simulations climatiques utilisées ne contiennent aucun cas de températures aussi élevées à la fin du xx^e siècle alors que quelques cas apparaissent dans la période actuelle. Ce type d'événement est donc extrêmement peu probable dans un climat sans influence humaine, mais deviendra de plus en plus probable au cours du xxI^e siècle sans réduction des émissions de gaz à effet de serre (fig. B21). Une étude publiée récemment a par ailleurs permis de démontrer que pour des circulations atmosphériques similaires, les températures sont moins élevées dans le milieu du xx^e siècle que dans la période plus récente (Jézéquel et al., 2017).

● Les pluies extrêmes du printemps 2016

Un épisode de trois jours de pluies quasi continues s'est produit sur le centre de la France les 29-30-31 mai 2016, occasionnant des inondations dans les bassins de la Loire et de la Seine, notamment sur plusieurs affluents. Une augmentation de fréquence de ce type d'événement à cette période de l'année n'est pas détectable dans les observations. En revanche, les simulations de plusieurs ensembles

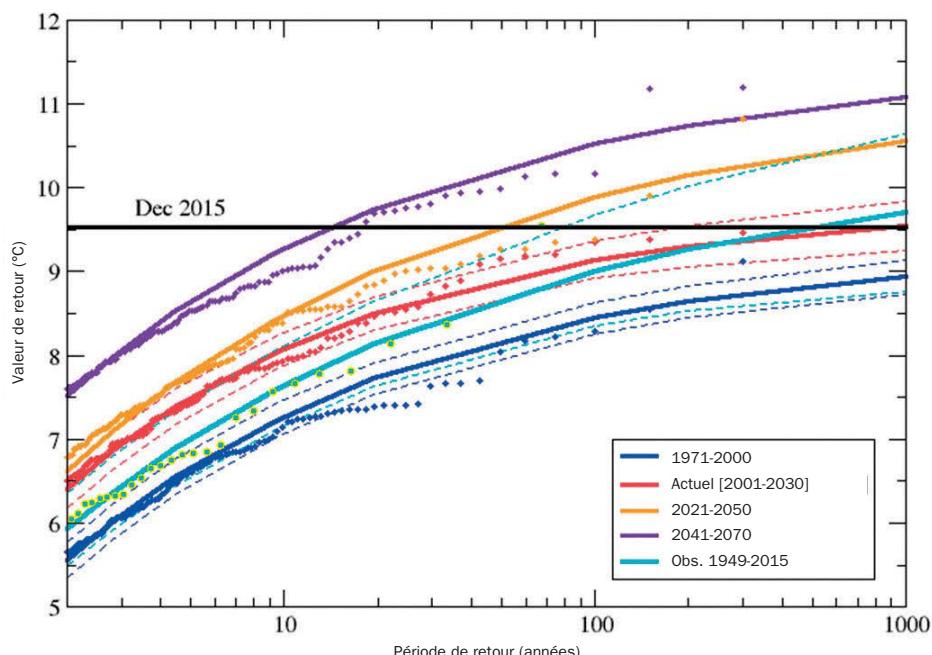


Figure B21 – Valeurs de retour de l'indicateur thermique pour le mois de décembre en fonction de la période de retour pour les observations durant la période récente (couleur cyan) et pour différentes périodes pour les simulations Euro-CORDEX

Source : IPSL.

de modèles montrent une augmentation d'un facteur 1,5 à 2 environ de cette fréquence par rapport à un climat sans activités humaines ou à une période climatique de la fin du xx^e siècle. Il est donc possible que les activités humaines aient augmenté l'intensité et la probabilité d'occurrence de tels phénomènes, sans que les observations permettent de le confirmer.

● *Les vagues de chaleur tardives de l'été 2016*

La France a connu des températures très élevées au cours de la fin de l'été 2016. Bien que classiques pour une vague de chaleur de milieu d'été, les températures rencontrées ont été très exceptionnelles pour une fin d'été, et des valeurs record pour la période du 16 août au 15 septembre ont été atteintes. Une analyse à partir des simulations climatiques montre que de telles températures sont extrêmement peu probables sans la modification du climat induite par les activités humaines. Elle montre aussi que dans le futur des températures aussi élevées entre le 16 août et le 15 septembre seront fréquentes. Cela montre que les mesures d'adaptation aux vagues de chaleur doivent aussi s'étendre au mois de septembre.

D'autres études ont été menées depuis, comme celle sur l'été exceptionnel et la vague de chaleur d'août 2017 sur les régions méditerranéennes (Kew et al., 2018), montrant que, d'une part, la probabilité de telles températures avait probablement augmenté d'un ordre de grandeur⁶, avec une période de retour actuelle d'une dizaine d'années sur la région concernée, et d'autre part que dans un climat 2 degrés plus chaud que sans activités humaines, ce type de températures deviendrait la norme dans cette région. Il faut rappeler les températures record observées (plus de 41 °C à Nîmes) et la forte sécheresse qui a accompagné cet événement, occasionnant des pertes pour la viticulture, notamment.

● *Conclusions*

La diversité de ces événements portant parfois sur une saison, parfois sur quelques jours, conduit à tirer des conclusions différentes concernant un possible effet des activités humaines. Ces conclusions vont de l'absence d'effet identifié (pluies intenses, sécheresses) jusqu'à une empreinte claire des activités humaines sur la probabilité d'événements comparables (vagues de chaleur). La quantification précise de l'influence humaine sur les extrêmes de chaleur n'est toutefois pas possible à ce stade.

D'une manière générale, ces conclusions sont en accord avec les résultats des études menées au niveau international et dont une synthèse avait été faite au cours d'un atelier du colloque *Our Common Future Under Climate Change* qui s'est tenu quelques mois avant la conférence de Paris sur le climat (Paris, 7-10 juillet 2015). La principale conclusion de cet atelier focalisé sur la question de la détection et de l'attribution des événements singuliers était la suivante :

6. La probabilité a été multipliée par un facteur 10.

« Les preuves que l'influence humaine exacerbe les extrêmes de température ont continué à se renforcer, et la confiance dans le fait que ce soit aussi le cas pour les extrêmes de précipitations augmente. »

À ce jour, il n'existe pas d'étude formalisant l'attribution de changements dans l'activité avalancheuse aux activités humaines (ni en France, ni dans les autres pays de montagne), bien que la question se pose régulièrement lors de chaque événement avalancheux majeur (par exemple, janvier 2018 dans les Alpes du Nord).

De même, l'influence du changement climatique sur les événements extrêmes neigeux, certains risques gravitaires, les risques liés aux glaciers et leur évolution dans un climat futur n'ont pas été l'objet de suffisamment d'études pour obtenir des éléments suffisants et des conclusions pertinentes.

Chapitre C

Évolutions dans un climat changeant, approche par phénomène

Auteurs : **Serge Planton,**
Météo-France

Robert Vautard,
IPSL

© Arnaud Bouissou – Terra



Plusieurs des résultats présentés dans ce chapitre font référence aux scénarios d'émissions futures de gaz à effet de serre définis dans le contexte du travail d'expertise du GIEC (GIEC, 2013). Il s'agit des scénarios dits RCP pour Representative Concentration Pathways (profils représentatifs d'évolution de concentration) qui ont servi de base au calcul de projections climatiques tant à l'échelle globale qu'à l'échelle régionale, c'est-à-dire celle du sous-continent européen ou de la France métropolitaine. Cependant, à l'échelle régionale, les résultats les plus récents présentés ici ne prennent en compte que deux scénarios parmi les quatre proposés par les experts du GIEC – RCP8.5 de fortes émissions de gaz à effet de serre et RCP4.5 d'émissions « modérées » -. Ce sont en effet les seuls pour lesquels un ensemble relativement important de simulations a été réalisé, à partir d'une dizaine de modèles climatiques régionaux différents (d'une résolution d'une dizaine de kilomètres), dans le cadre du projet européen de recherche Euro-CORDEX lancé en 2009. Dès lors, la question du scénario du réchauffement à 2 °C à l'échelle globale, correspondant sensiblement au scénario RCP2.6, est posée. Elle n'est pas essentielle à un horizon temporel limité au milieu de ce siècle (typiquement pour la période 2021-2050), car à cet horizon les projections climatiques dépendent faiblement du scénario d'émissions de gaz à effet de serre. En revanche, à l'horizon de la fin de ce siècle (typiquement pour la période 2071-2100), les résultats en dépendent fortement. Il faut toutefois noter que les quelques simulations réalisées à l'échelle régionale pour le scénario RCP2.6 montrent une relative stabilité des résultats concernant les extrêmes climatiques entre le milieu et la fin de ce siècle (voir par exemple les résultats des simulations du modèle Aladin-Climat de Météo-France figurant sur le portail Internet Drias¹). Il est donc possible de transposer les résultats des scénarios RCP4.5 et RCP8.5 au milieu du siècle pour disposer d'une estimation des changements auxquels on peut s'attendre à la fin du siècle pour le scénario RCP2.6.

1. <http://www.drias-climat.fr/>

Quel sera l'impact futur du changement climatique sur les risques naturels majeurs ?

Croiser les connaissances relatives à l'évolution des aléas avec les enjeux exposés actuellement et, dans la mesure du possible, de leurs évolutions attendues, permet d'estimer les conséquences potentielles du changement climatique en matière de risques naturels.

Plusieurs évaluations menées par le secteur des assurances anticipent une hausse notable de la sinistralité et du coût des dommages, dus à des aléas naturels, dont une part non négligeable est expliquée par le changement climatique, principalement sur les aléas sécheresse et submersion marine. Toutefois, ces études soulignent que la hausse de la sinistralité sera principalement due à une exposition accrue des biens – leur nombre, leur localisation, leur valeur – dans des zones à risques qui pourraient croître. Ainsi, la concentration croissante de population et d'activités dans le sud de la France et sur le littoral est de nature à accroître la sinistralité. Certains territoires d'outre-mer connaissent aussi une forte croissance démographique (Mayotte, Guyane).

Les études menées par les assureurs ne prennent pas en compte les mesures d'adaptation, qui visent à limiter cette augmentation de la sinistralité ou la réduire.

Encadré 1

Les conséquences du changement climatique sur les dommages assurés en France à l'horizon 2050, étude de la Caisse centrale de réassurance (CCR) et Météo-France

Auteur : Emmanuel Vullierme,
MTES, DGPR/SRNH

Au regard des récentes catastrophes, la question de l'évolution future de la fréquence et des conséquences financières des événements est de toute première importance pour assurer la solidité du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles.

Après une première étude menée dans le cadre de la 21^e Conférence des parties (COP 21) organisée à Paris en décembre 2015², la CCR a souhaité estimer l'impact que pourrait avoir le scénario du GIEC le plus pessimiste sur le coût des catastrophes. En 2018, cette nouvelle étude menée en partenariat avec Météo-France s'appuie sur le scénario qui suppose que les émissions de gaz à effet de serre vont se poursuivre à la même tendance qu'actuellement (scénario dit « RCP8.5 »). Selon le GIEC, la hausse

2. *Modélisation de l'impact du changement climatique sur les dommages assurés dans le cadre du régime Catastrophes Naturelles*, Caisse centrale de réassurance, décembre 2015.

des températures mondiales (terres et océans) serait alors comprise entre 1,4°C et 2,6°C en 2050 et entre 2,6°C et 4,8°C en 2100, par rapport aux températures de la période pré-industrielle. Le niveau de la mer pourrait connaître une augmentation d'environ 23 cm à l'horizon 2050 (2016-2065) par rapport au niveau moyen de 1986-2005.

Les résultats de modélisation du climat futur réalisée par Météo-France à l'aide de son modèle Arpège-Climat sont venus alimenter les modèles d'aléa (inondation, sécheresse et submersion marine) et de dommages de la CCR (Moncoulon, 2014 et Naulin, 2016). Pour ce faire, 400 années à climat actuel et à climat 2050 ont été simulées par les modèles de Météo-France. Cette chaîne de modélisation permet d'évaluer *in fine* la hausse des pertes annuelles moyennes à l'horizon 2050 (fig. C1).

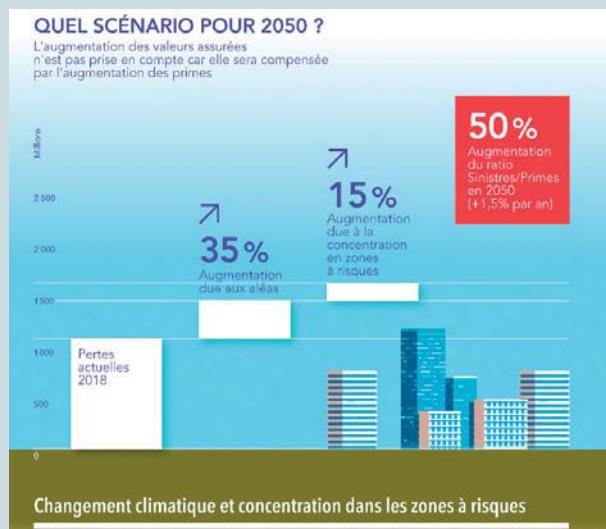


Figure C1 – Évolution des pertes annuelles moyennes en 2050

Source : Météo-France.

L'analyse des résultats à l'échelle locale fait apparaître de fortes disparités territoriales avec une exposition importante de la façade atlantique et de l'Île-de-France (fig. C2). Ces résultats sont également révélateurs des enjeux à prendre en compte dans les politiques de prévention, à savoir la concentration des biens dans les futures zones à risque et la récurrence élevée de certains événements.

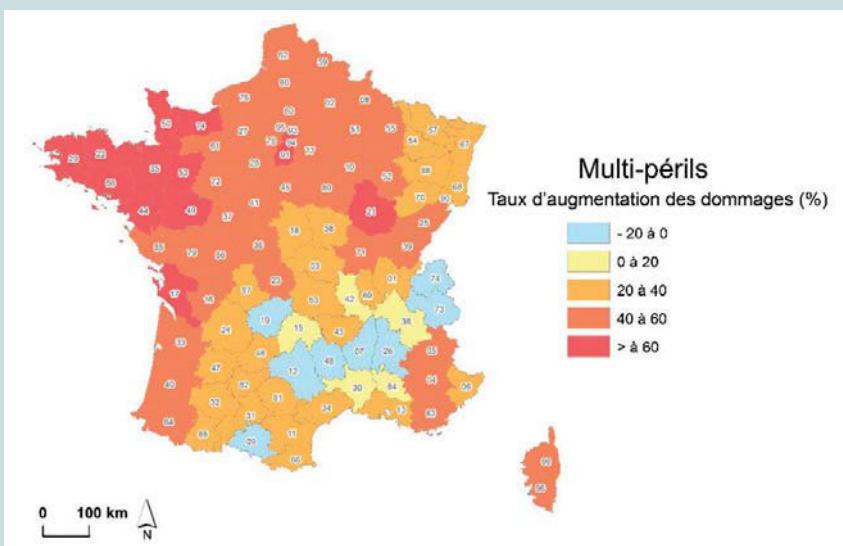


Figure C2 – Évolutions projetées des dommages potentiels entre 2018 et 2050

Source : CCR.

Les départements d'outre-mer ne sont pas couverts par cette étude, mais ils font l'objet de travaux complémentaires, devant aboutir en 2019 afin de mesurer l'évolution de ces territoires à l'horizon 2050.

Certaines actions ont une influence sur la survenue de certains aléas, soit pour les réduire, soit, de manière incidente, les accentuer. Ainsi, les phénomènes de ruissellement, susceptibles de provoquer des inondations, peuvent être localement accentués par l'artificialisation des sols. Autre exemple, l'artificialisation du sol en milieu urbain a tendance à augmenter localement les températures par rapport aux zones rurales, ce qui est susceptible de provoquer des phénomènes d'ilots de chaleur et d'amplifier les effets des canicules.

La mise en œuvre de la politique de prévention des risques naturels, non seulement après les crises, et sur la base des retours d'expérience, mais surtout dans la durée et par l'action conjuguée de différents acteurs, permet de limiter les risques naturels majeurs. Ces acteurs interviennent dans deux logiques complémentaires :

- la prévention, qui vise à empêcher l'aléa ou réduire les effets d'un possible événement sur les personnes et les biens ;
- l'intervention au moment où survient l'événement dommageable.

Plus la prévention est efficace, moins la société est amenée à engager des dépenses importantes pour assurer la gestion de crise, puis la réparation de dégâts.

Vagues de chaleur

À l'échelle mondiale, d'après le dernier rapport du GIEC (GIEC, 2013), il est quasi-maintenant certain que, dans la plupart des régions continentales, les extrêmes chauds seront plus nombreux aux échelles quotidienne et saisonnière. Il est par ailleurs très probable que les vagues de chaleur seront plus fréquentes et dureront plus longtemps.

Ces résultats se transposent naturellement à l'échelle de la France, comme le montrent les résultats des scénarios climatiques régionaux présentés sur le portail Drias *lesfutursduclimat* et ceux qui ont été réalisés dans le cadre du projet Euro-CORDEX. Dès la période 2021-2050, les vagues de chaleur estivales deviendront à la fois plus fréquentes, plus longues et plus intenses par rapport à la période de référence 1976-2005 (Ouzeau et al., 2014). Les pics de chaleur pourront atteindre des niveaux plus élevés. On s'attend ainsi à ce qu'il y ait de l'ordre de deux fois plus de jours de vagues de chaleur, tous scénarios confondus. Le quart Sud-Est de la France devrait connaître des évolutions plus marquées que les autres régions avec un nombre annuel de jours de vagues de chaleur pouvant augmenter de cinq à dix jours en moyenne, contre un à trois jours en moyenne sur la période de référence. Un épisode tel que celui de l'année 2003, qui a touché l'ensemble de la France métropolitaine, pourrait se reproduire mais il resterait exceptionnel à l'horizon 2050, au contraire de ce qui pourrait se passer vers la fin du siècle avec le scénario RCP8.5 (Ouzeau et al., 2016).

À l'appui de cette affirmation, les figures C3 et C4 montrent les caractéristiques statistiques des canicules simulées par huit modèles climatiques utilisés dans le cadre du projet Euro-CORDEX pour les périodes 2021-2050 et 2071-2100, respectivement pour les scénarios d'émissions RCP4.5 et RCP8.5. Les canicules y sont représentées au travers des caractéristiques (durée, intensité du pic de chaleur et intensité moyenne) des 10^e, 50^e et 90^e centiles de la distribution des vagues de chaleur simulées par chacun des modèles. Pour les deux scénarios, la canicule de 2003, un peu plus longue, est compatible avec le 90^e centile des canicules simulées pour la période 2021-2050. Elle ne serait donc dépassée que dans 10 % des cas, ce qui confirme son caractère exceptionnel à moyen terme. En revanche, pour la période 2071-2100, la canicule de 2003 est dépassée en intensité et en durée et cela d'autant plus que les émissions sont élevées. Avec le scénario RCP8.5, la canicule de 2003 apparaît ainsi comme un phénomène relativement banal (proche de la médiane de la plupart des modèles).

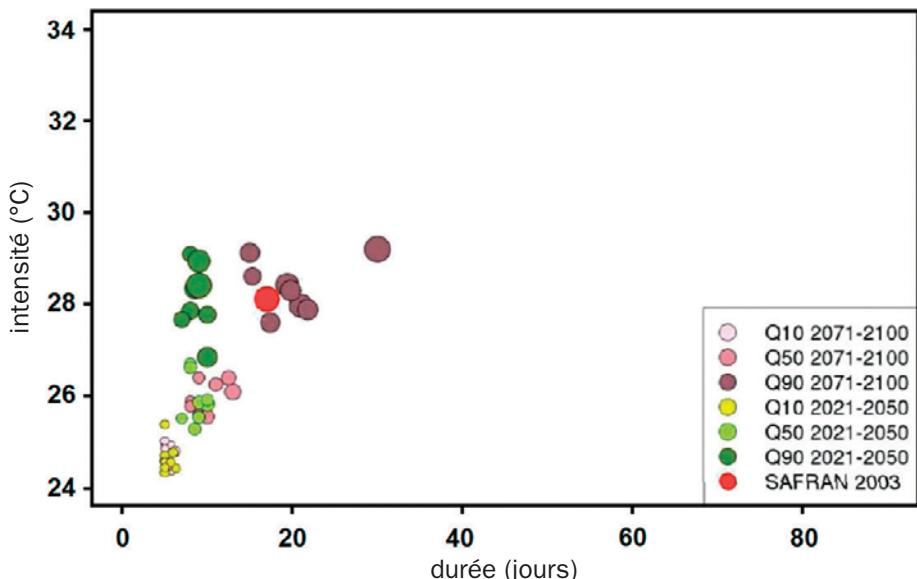


Figure C3 – Caractéristiques statistiques des vagues de chaleur futures pour les périodes 2021-2050 et 2071-2100 suivant le scénario RCP4.5.

La durée d'une canicule est indiquée en jours sur l'axe horizontal, son pic d'intensité en degrés sur l'axe vertical et le diamètre du disque est proportionnel à son intensité moyenne. Pour chacune des périodes, les caractéristiques des 10^e, 50^e et 90^e centiles des ensembles de canicules simulées par 8 modèles d'Euro-CORDEX sont reproduites. La canicule de 2003 est représentée en rouge sur la figure.

Source : Ouzeau et al., 2016.

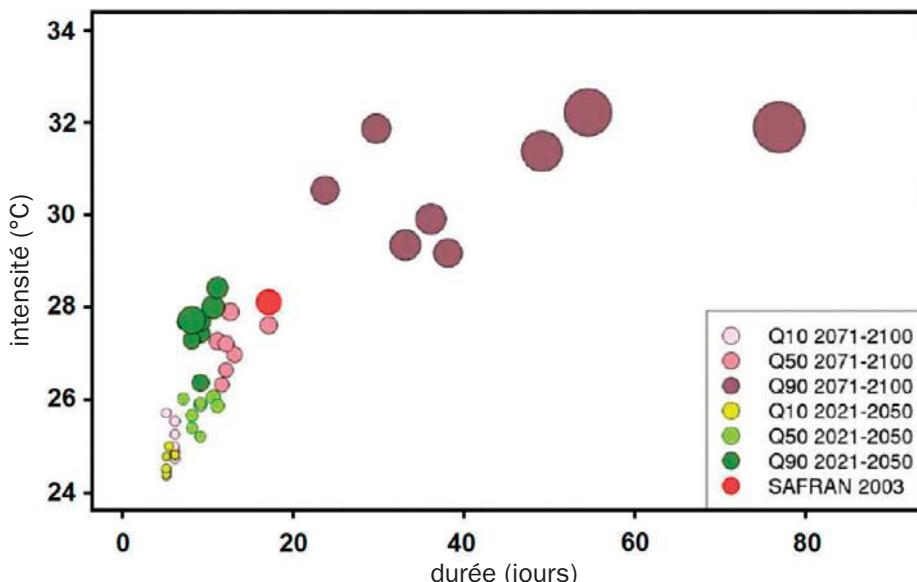


Figure C4 – Caractéristiques statistiques des vagues de chaleur futures pour les périodes 2021-2050 et 2071-2100 suivant le scénario RCP8.5

Source : Ouzeau et al., 2016.

Vagues de froid

À l'inverse, le changement climatique s'accompagnera d'une moindre sévérité des extrêmes froids. Pour le GIEC, il est *quasiment certain* que, dans la plupart des régions continentales, les extrêmes froids seront moins nombreux aux échelles quotidienne et saisonnière. Les périodes de vagues de froid seront aussi moins fréquentes, moins longues et moins intenses. Il est toutefois important de noter que des vagues de froids continueront à se produire et pourront donc générer des impacts sociaux-économiques.

Les simulations climatiques régionales confirment ce constat à l'échelle de la France métropolitaine. De nombreux indicateurs peuvent être utilisés pour caractériser les extrêmes froids mais ils montrent tous cette même tendance d'évolution. À titre d'exemple, le nombre annuel de jours particulièrement froids (au moins 5 °C plus froids que la valeur de référence), de l'ordre d'une dizaine en moyenne hivernale sur la plupart des régions françaises pour la période 1976-2005, se trouverait ainsi réduit d'un à quatre jours voire de six jours sur le Nord-Est du pays pour la période 2021-2050 (Ouzeau *et al.*, 2014). D'après la même étude et pour le même indicateur, la réduction du nombre annuel de jours particulièrement froids irait de deux à huit jours dans l'extrême Sud du pays jusqu'à six à plus de dix jours dans le Nord-Est selon les scénarios et les modèles.

Les figures C5 et C6 illustrent, respectivement pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, cette diminution avec un autre indicateur disponible sur le portail Drias [lesfutursduclimat](#). Il s'agit du 10^e centile de la température minimale quotidienne hivernale exprimé en degrés, c'est-à-dire le seuil de température en dessous duquel on compte les 10 % des nuits d'hiver les plus froides sur une période donnée. Cet indicateur est calculé pour la période de référence ainsi que son évolution pour les périodes 2021-2050 et 2071-2100. Le calcul est effectué pour les différents modèles d'Euro-CORDEX, et les cartes produites ici ne représentent que la médiane de cet ensemble de modèles (la moitié des valeurs des évolutions simulées est supérieure et l'autre moitié inférieure). À l'horizon 2100, et pour les deux scénarios climatiques utilisés, les modèles simulent ainsi une augmentation des températures minimales en hiver.



Figure C5 - 10^e centile de la température minimale quotidienne exprimé en degrés pour la période de référence 1976-2005 (à gauche) et son évolution pour les périodes 2021-2050 (au centre) et 2071-2100 (à droite) suivant le scénario RCP4.5. Les cartes reproduisent la médiane (50^e centile) de l'ensemble de simulations Euro-CORDEX.

Source : portail Drias *les futurs du climat*



Figure C6 - 10^e centile de la température minimale quotidienne exprimé en degrés pour la période de référence 1976-2005 (à gauche) et son évolution pour les périodes 2021-2050 (au centre) et 2071-2100 (à droite) suivant le scénario RCP8.5. Les cartes reproduisent la médiane (50^e centile) de l'ensemble de simulations.

Source : portail Drias *les futurs du climat*

Sécheresses

D'après le GIEC (GIEC, 2013), pour le scénario RCP8.5 et à la fin du XXI^e siècle, un risque accru de sécheresse est probable dans des zones actuellement arides. C'est dans la zone méditerranéenne, dans le sud-ouest des États-Unis et en Afrique australe que l'assèchement des sols serait le plus marqué. À l'inverse, certaines régions situées aux hautes latitudes ou en Afrique équatoriale devraient connaître une diminution de ce risque. L'effet du changement climatique sur les sécheresses est donc très dépendant de la région du globe concernée.

La France métropolitaine se situe dans l'ensemble des régions pour lesquelles le risque de sécheresse devrait être aggravé par le changement climatique induit par les émissions de gaz à effet de serre. On distingue les sécheresses météorologiques

déterminées à partir des précipitations, les sécheresses agricoles déterminées à partir des contenus en eau du sol superficiel (typiquement jusqu'à une profondeur d'un mètre) et les sécheresses hydrologiques déterminées à partir du débit des cours d'eau et du niveau des nappes.

Les effets du changement climatique sur les sécheresses météorologiques et agricoles ont été étudiés dans le cadre du projet de recherche national ClimSec (2008-2011). Pour le diagnostic des sécheresses dans le climat futur, le projet a pris en compte les résultats de simulations de changement climatique provenant de six modèles globaux mis en œuvre dans le cadre du programme international CMIP3 (*Coupled Model Intercomparison Project*). Les projections climatiques alors disponibles ne concernaient pas les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre RCP déjà cités mais les scénarios définis antérieurement par les experts du GIEC et ayant servi de base au quatrième rapport d'évaluation (appelé aussi AR4) du GIEC. Cependant, une correspondance peut être établie entre ces anciens scénarios et les scénarios RCP puisque les émissions de gaz à effet de serre du scénario A2 sont seulement légèrement inférieures à celles du scénario RCP8.5, le scénario A1B s'apparente au scénario RCP6.0 et le scénario B1 n'est pas très éloigné du scénario RCP4.5 (GIEC, 2013). Afin d'aboutir au traitement des sécheresses en France, une étape complémentaire de régionalisation du climat à des échelles relativement fines a dû être réalisée à partir des sorties des modèles globaux. Les variables climatiques ainsi obtenues ont servi de données d'entrées à un modèle hydrométéorologique appelé Safran-Isba-Modcou (modèle SIM) calculant en particulier le bilan hydrologique des sols (Soubeyroux et al., 2012).

Les résultats montrent une aggravation plus rapide et plus intense des événements liés au déficit d'humidité du sol qu'au déficit de précipitation. Les projections climatiques indiquent surtout que notre pays risque de connaître, au cours de la seconde moitié du xxie siècle, des sécheresses agricoles quasi continues et de grande intensité, totalement inconnues dans le climat actuel. L'augmentation plus rapide du risque de sécheresse agricole comparée à celle du risque de sécheresse météorologique s'explique par une augmentation de l'évapotranspiration³ en surface directement liée à l'augmentation de la température (Soubeyroux et al., 2012).

Ces résultats sont illustrés sur la figure C7 qui montre l'évolution de la superficie de la France affectée par des sécheresses météorologiques et par des sécheresses agricoles, sur des périodes comprises entre 1961 et 2100. Les sécheresses sont définies à partir de valeurs d'indices standardisés calculés soit à partir des précipitations (sécheresses météorologiques), soit à partir des contenus en eau du sol (sécheresses agricoles). Les calculs portent sur les observations de la période 1961-2008, et sur les résultats des simulations de la période 1961-2100 par le modèle climatique Arpege-Climat de Météo-France et le modèle SIM. Les diagrammes se rapportent à des sécheresses modérées à extrêmes sur la

3. Quantité d'eau transférée vers l'atmosphère, par l'évaporation au niveau du sol et par la transpiration des plantes.

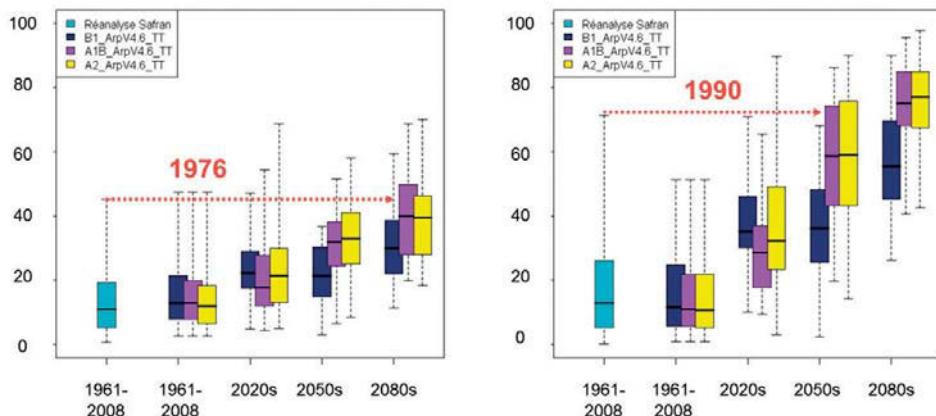


Figure C7 – Diagrammes en boîtes sur des périodes comprises entre 1961 et 2100, de la superficie de la France affectée par les sécheresses météorologiques (à gauche) et agricoles (à droite) modérées à extrêmes (seuil de 16 %)

Ces diagrammes sont calculés à partir des distributions d'événements trimestriels (de précipitations à gauche et de contenu en eau du sol à droite) issues de simulations climatiques régionalisées du modèle Arpege-Climat suivant les scénarios B1 (en violet), A1B (en mauve) et A2 (en jaune) du GIEC.

Source : Soubeyroux *et al.*, 2012.

France. Cette figure montre clairement que la sécheresse météorologique extrême de 1976 serait dépassée à la fin de ce siècle, en termes de superficie touchée, avec les scénarios de plus fortes émissions de gaz à effet de serre. Elle montre aussi plus nettement que la sécheresse agricole extrême de 1990 serait dépassée dès les années 2050, en termes de superficie touchée, avec ici aussi un rôle aggravant lié à l'intensité des émissions de gaz à effet de serre futures.

Ce type d'étude a été actualisé en 2018 (Boé *et al.*, 2018) en exploitant les scénarios CMIP5 régionalisés (Dayon *et al.*, 2018). Les résultats ont été analysés sur les scénarios RCP8.5 et RCP2.6. Pour ces deux scénarios, les résultats confirment les tendances obtenues précédemment : le temps passé en sécheresse agricole augmente généralement de 30 à 40 % sur la France à horizon 2100, avec des changements allant jusqu'à 50 % dans le Sud de la France. La sévérité de ces épisodes de sécheresse augmente également, de façon plus marquée sur le bassin de la Seine et l'amont de la Loire (fig. C8).

Cette étude intègre également l'analyse de l'évolution des sécheresses hydrologiques. Il s'agit ici uniquement de l'influence des émissions de gaz à effet de serre, les actions anthropiques (et notamment les soutiens d'étiage) ne sont pas intégrées. La durée et l'intensité des sécheresses hydrologiques augmentent sur quasiment toute la France à horizon 2100, de façon assez réduite sauf dans le Sud où les valeurs peuvent dépasser 10 %. Les Alpes font exception avec des diminutions de la durée et de l'intensité des sécheresses hydrologiques, en lien avec l'évolution du manteau neigeux (fig. C9).

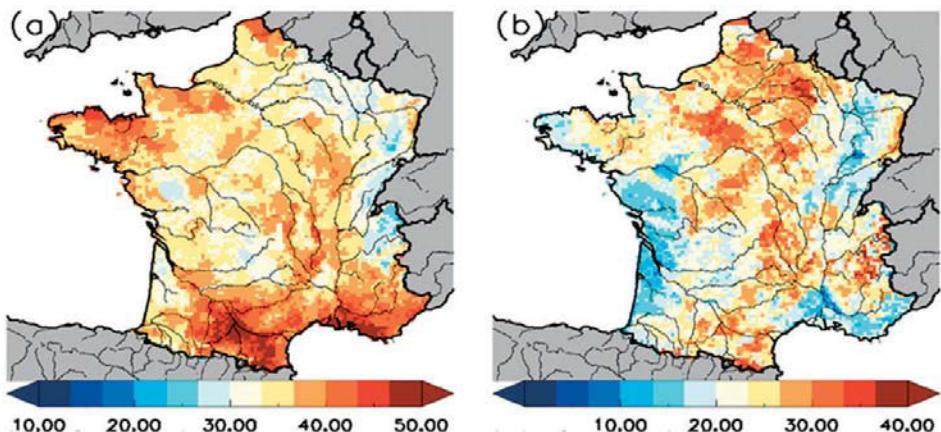


Figure C8 – Moyenne d'ensemble à horizon 2100 pour les projections RCP8.5 (Dayon et al., 2018) des changements, par rapport à la période 1961-2008.
(a) de pourcentage de temps passé en sécheresse agricole. (b) relatifs de la sévérité des sécheresses agricoles.

Source : figure issue de Boé et al., 2018.

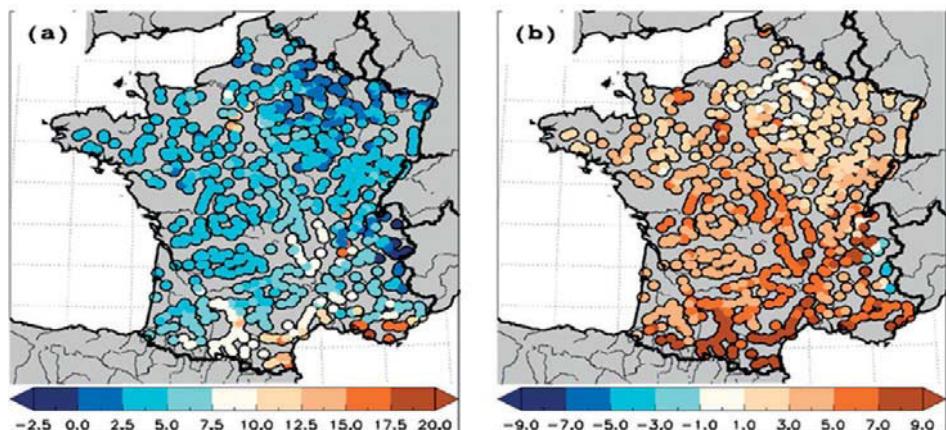


Figure C9 – Moyenne d'ensemble à horizon 2100 pour les projections RCP8.5 (Dayon et al., 2018) des changements par rapport à la période de référence 1961-2008
(a) de pourcentage de temps passé en sécheresse hydrologique (attention la palette de couleur est trompeuse, seule la couleur bleu foncé correspond à une diminution)
(b) relatifs de la sévérité des sécheresses hydrologiques. Chaque point correspond à une station hydrométrique simulée par SIM, et n'inclut pas les impacts des aménagements (débits naturels).

Source : figure issue de Boé et al., 2018.

En parallèle, ces projections climatiques ont également été utilisées dans le cadre des travaux menés dans le projet Aqui-FR⁴ et de la convention service climatique⁵ pour étudier l'évolution des sécheresses hydrogéologiques. Celles-ci sont caractérisées par un niveau des nappes plus bas que le bas niveau de période de retour de dix ans. L'analyse porte sur les scénarios d'émission RCP2.6 et RCP8.5. Les simulations sont réalisées en supposant que les prélevements en nappe restent constants dans le temps (pas de mesure d'adaptation). Les projections indiquent une forte augmentation de l'extension des nappes impactées par les sécheresses pour le scénario d'émission RCP8.5 (+ 50 %) avec une intensité des sécheresses qui s'aggrave en moyenne de plus de 20 % et une augmentation moins marquée, surtout en fin de siècle, pour le scénario RCP2.6, avec une augmentation des surfaces impactées et de l'intensité de l'ordre de 10 %. (fig. C10).

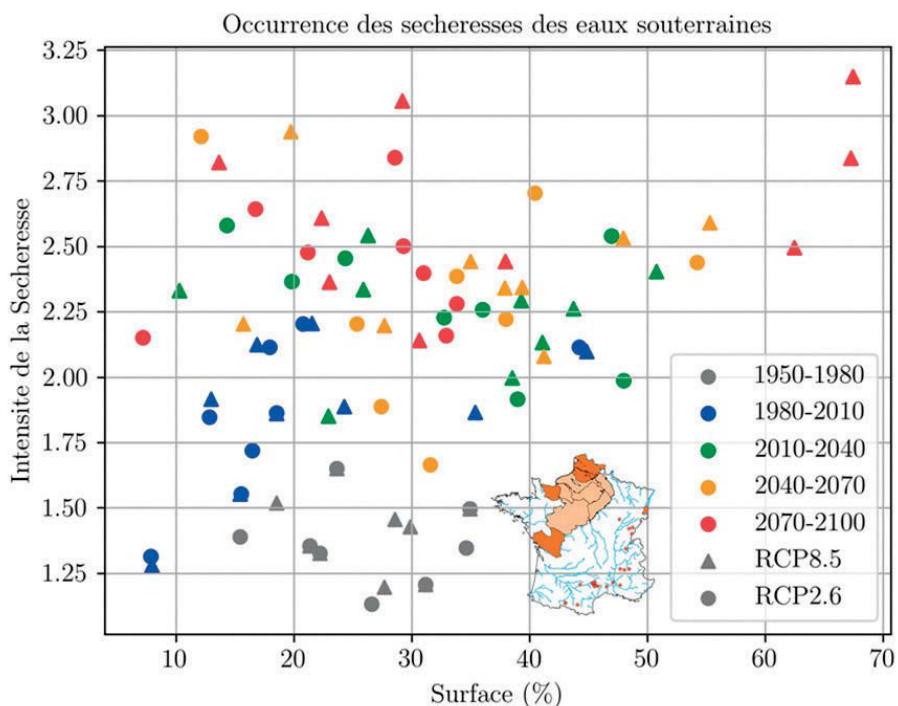


Figure C10 – Intensité et pourcentage d'extension des sécheresses des nappes

Elles sont caractérisées comme l'occurrence de basses eaux de période de retour 10 ans sur les aquifères sédimentaires présentés dans le graphe pour les projections RCP2.6 (cercle) et RCP8.5 (triangle) pour différents horizons temporels (couleurs).

Source : figure issue du projet Aqui-FR et de la convention des services climatiques.

4. www.metis.upmc.fr/~aqui-fr

5. <https://convention-services-climatiques.lsce.ipsl.fr/demonstrateurs>

Incendie de forêts

L'augmentation du risque d'incendie de forêts est mentionnée dans le rapport du GIEC sur les impacts du changement climatique (GIEC, 2014) plus particulièrement pour l'Amérique du Nord et l'Europe du Sud. Le risque d'incendie de forêt pourrait en effet augmenter du fait à la fois de l'augmentation des températures et de l'augmentation des conditions de sécheresses dans certaines régions du globe. En Europe du Sud, à la fin de ce siècle et pour le scénario RCP8.5, la surface brûlée chaque année pourrait ainsi être multipliée par un facteur compris entre 3 et 5 par rapport à la surface actuelle.

En France, l'augmentation de la fréquence des épisodes de fortes chaleurs et l'augmentation du risque de sécheresse, combinées avec une augmentation attendue des zones forestières et des friches, devraient aussi entraîner l'augmentation des feux de forêts. Une étude de la sensibilité des forêts françaises au risque d'incendie (Chatry et al., 2010) a montré que les surfaces forestières les plus sensibles au risque de feu, actuellement localisées dans le Sud-Est de la France, pourraient s'étendre de 30 % à l'horizon 2040 et couvrir une part importante de la forêt des Landes. Ce risque extrême pourrait même s'étendre aux forêts de Sologne à l'horizon 2060. Cette étude s'est appuyée sur les résultats de l'analyse de l'effet du changement climatique sur le risque incendie mesuré au travers de l'Indice forêt météo (IFM) (Cloppet et Régimbeau, 2009). La figure C11 illustre cet effet avec le nombre de jours pour lesquels l'IFM dépasse une valeur de 40, correspondant à un risque extrême d'incendie. Ces cartes ont été produites à partir de simulations du changement climatique pour le scénario A1B (proche du scénario RCP6.0) réalisées avec le modèle Arpege-Climat de Météo-France. Le nombre annuel de jours avec un risque extrême d'incendie est de dix à quarante jours dans le Sud-Est

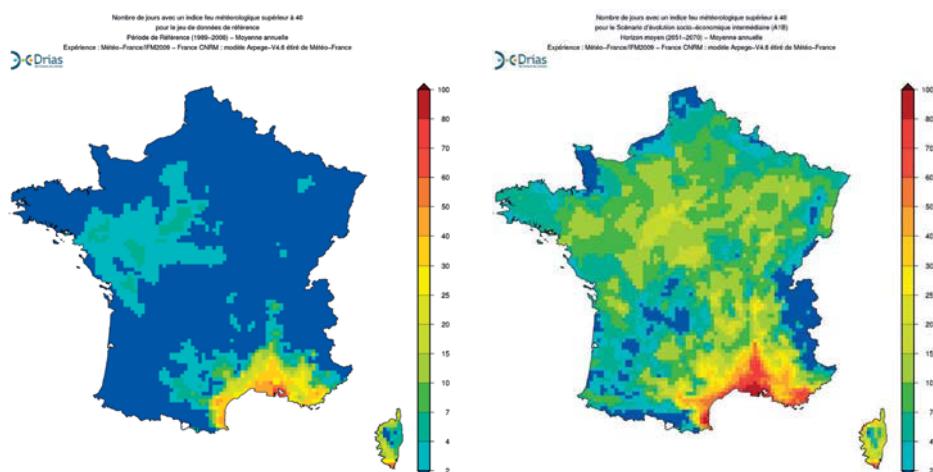


Figure C11 – Nombre moyen de jours par an avec un Indice forêt météo (IFM) supérieur à 40 pour la période 1961-1980 (carte de gauche) et l'horizon 2060 (scénario d'émissions A1B)

Source : portail Drias [lesfutursduclimat](http://lesfutursduclimat.fr)

méditerranéen dans les conditions du climat passé récent, mais est quasiment nul dans toutes les autres régions. En revanche, à l'horizon 2060, on observerait de l'ordre d'une dizaine de jours présentant un risque extrême d'incendie dans la plupart des régions de France, y compris les plus septentrionales.

Pluies extrêmes

D'après le GIEC (GIEC, 2013), les épisodes de précipitations extrêmes deviendront plus intenses et fréquents, en lien avec l'augmentation de la température moyenne en surface. En effet, une atmosphère plus chaude contient plus de vapeur d'eau et est associée à la fois à une augmentation de l'évapotranspiration et à une augmentation des précipitations, c'est-à-dire à une intensification du cycle hydrologique global. Cela se traduit par une augmentation *très probable* des précipitations extrêmes pour la plupart des régions continentales des moyennes latitudes et pour les régions tropicales humides à la fin de ce siècle. Il est également *probable* que les précipitations de mousson et celles qui sont associées aux cyclones tropicaux s'intensifient.

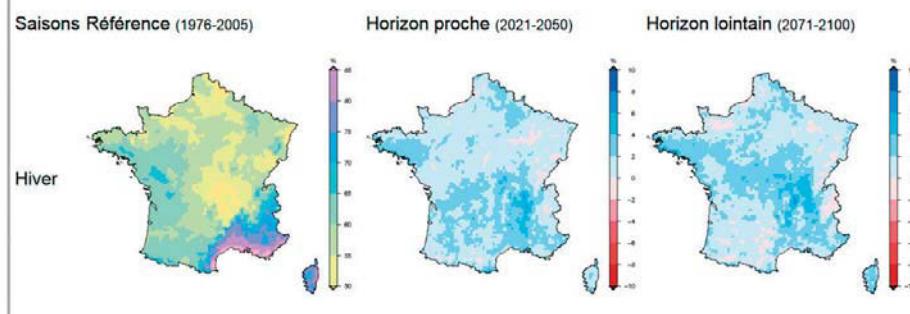
En France, à l'horizon 2050 comme à l'horizon 2100, les évolutions attendues pour les pluies extrêmes définies comme les pluies dépassant un seuil déterminé (par exemple 20 mm/jour) sont très variables géographiquement. En revanche, indépendamment de l'horizon temporel, une tendance générale se dessine pour une augmentation de la quantité de pluie tombant au cours des épisodes les plus extrêmes (Ouzeau et al., 2014). Pour le Sud-Est méditerranéen du pays, en raison d'une résolution insuffisante, les modèles climatiques étaient jusqu'à ces dernières années dans l'incapacité de reproduire les épisodes les plus intenses (dépassant typiquement 200 mm/jour). Les premiers résultats des recherches menées avec des modèles de résolution plus fine (quelques kilomètres) permettent maintenant d'augmenter le réalisme des simulations et d'obtenir les premiers résultats sur l'effet du changement climatique futur. Elles introduisent une incertitude sur l'effet du changement climatique sur l'intensification des pluies extrêmes quotidiennes de la région, mais elles confirment une intensification future des pluies horaires.

Les figures C12 et C13 illustrent, respectivement pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, le pourcentage de précipitations intenses pour la période de référence et son évolution pour les périodes 2021-2050 et 2071-2100, les précipitations intenses étant définies par un cumul quotidien de précipitations dépassant le 90^e centile. Les cartes présentées sont extraites du portail Drias *lesfutursduclimat*. Le calcul est effectué pour les différents modèles d'Euro-CORDEX, et les cartes extraites du portail ne reproduisent ici que la médiane de cet ensemble de modèles (la moitié des valeurs des évolutions simulées est supérieure et l'autre moitié inférieure).

Ces résultats présentés pour la saison d'hiver montrent clairement une augmentation de la proportion de pluies intenses indépendamment des scénarios et de l'horizon. Pour le printemps et l'automne, l'augmentation de la proportion de pluies intenses n'est pas aussi systématique même si elle se confirme nettement pour le scénario RCP8.5 à la fin de ce siècle. En été, même pour ce scénario et

cet horizon, on note un résultat inverse avec une diminution de la proportion de pluies tombant sous forme de pluies intenses. Il convient cependant d'être très prudent avant d'en tirer des conclusions car la résolution des modèles utilisés (une dizaine de kilomètres) n'est clairement pas suffisante pour reproduire les épisodes orageux qui sont ceux qui se produisent le plus fréquemment au cours de la saison. D'une manière générale, les modèles climatiques actuels ne permettent pas de tirer de conclusion concernant les effets du changement climatique sur les phénomènes orageux et donc aussi en particulier sur l'intensité des pluies les plus extrêmes associées à ces épisodes.

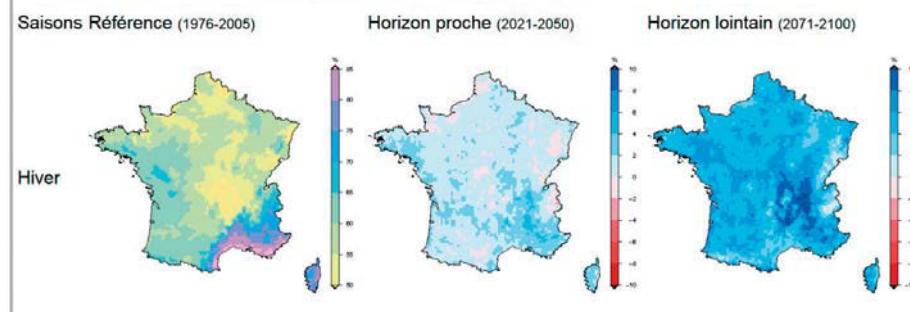
Quantile Euro-Cordex2014 : médiane de l'ensemble multi-modèles



**Figure C12 – Pourcentage des précipitations quotidiennes intenses pour la période de référence 1976-2005 (à gauche) et son évolution pour les périodes 2021-2050 (au centre) et 2071-2100 (à droite) suivant le scénario RCP4.5.
Les cartes reproduisent la médiane (50^e centile) de l'ensemble de simulations Euro-CORDEX.**

Source : portail Drias lesfutursduclimat

Quantile Euro-Cordex2014 : médiane de l'ensemble multi-modèles



**Figure C13 – Pourcentage des précipitations quotidiennes intenses pour la période de référence 1976-2005 (à gauche) et son évolution pour les périodes 2021-2050 (au centre) et 2071-2100 (à droite) suivant le scénario RCP8.5.
Les cartes reproduisent la médiane (50^e centile) de l'ensemble de simulations Euro-CORDEX.**

Source : portail Drias lesfutursduclimat

Cyclones et tempêtes

Le cinquième rapport du GIEC (GIEC, 2013) fait état d'un faible niveau de confiance dans les projections climatiques concernant les cyclones tropicaux à l'horizon du milieu de ce siècle, en particulier en raison de l'importance de la variabilité climatique naturelle. En revanche, à la fin du xx^e siècle, il est *probable* que la fréquence globale des cyclones tropicaux diminuera ou restera la même. Comme indiqué plus haut, les précipitations moyennes associées aux cyclones augmenteront *probablement*. Il en est de même pour la vitesse moyenne du vent maximal associée aux cyclones, qui se traduit par une augmentation *probable* de la fréquence des cyclones les plus intenses (de catégories 4 et 5).

Cependant, en particulier en raison de l'incertitude sur l'amplitude simulée du réchauffement océanique attendu dans les différents bassins, le GIEC n'accorde qu'un *faible degré de confiance* aux projections par région de la planète, tant en termes de fréquence que d'intensité des cyclones. Cela concerne les régions françaises des territoires d'outre-mer potentiellement exposées aux cyclones pour lesquelles il n'est pas possible de préciser ces évolutions futures.

Concernant les tempêtes des moyennes et hautes latitudes, les experts du GIEC concluent qu'à la fin du xx^e siècle, il est *probable* que la trajectoire des tempêtes de l'hémisphère Sud se déplace légèrement vers le pôle. En revanche, ils n'accordent qu'un *faible degré de confiance* à la projection de l'évolution des trajectoires des tempêtes dans l'hémisphère Nord.

Cette forte incertitude se confirme à l'échelle de la France métropolitaine puisque les études actuelles ne permettent pas de mettre en évidence une tendance future notable sur l'évolution du risque de vent violent lié aux tempêtes. Les projections ne montrent en effet aucune tendance significative de long terme sur la fréquence et l'intensité des tempêtes que ce soit à l'horizon 2050 ou à l'horizon 2100. Une étude récente des tempêtes de janvier 2018 (notamment Eleanor qui a touché la France) a confirmé que les tendances de telles tempêtes étaient très faibles et que les activités humaines ont eu peu d'effet (voir chapitre B).

De plus, de la même façon que pour les orages, les modèles climatiques actuels ne sont pas à même de simuler les phénomènes météorologiques de petites échelles comme les mini-tornades, et ne permettent donc pas de tirer de conclusions sur les épisodes de vents extrêmes associés à ce type de phénomènes.

Afin d'illustrer l'absence de signal notable de changement concernant les vents forts, la figure C14 reproduit le rapport entre l'intensité moyenne du vent maximal hivernal simulée pour le futur et l'intensité moyenne du vent maximal hivernal de la période de référence correspondant au climat récent. La projection climatique a été réalisée avec le modèle climatique régional Aladin-Climat de Météo-France suivant le scénario d'émissions A1B (proche du scénario RCP6.0), dans le cadre du projet national SCAMPEI (2008-2011). Ces cartes montrent que l'augmentation future du risque de vent fort au nord reste modérée (de l'ordre de 5 %) tout comme la diminution au sud (aussi de l'ordre de 5 %). L'analyse d'autres simulations réalisées avec deux autres modèles climatiques régionaux montre par ailleurs que la variabilité spatiale du signal de changement dépend du modèle.

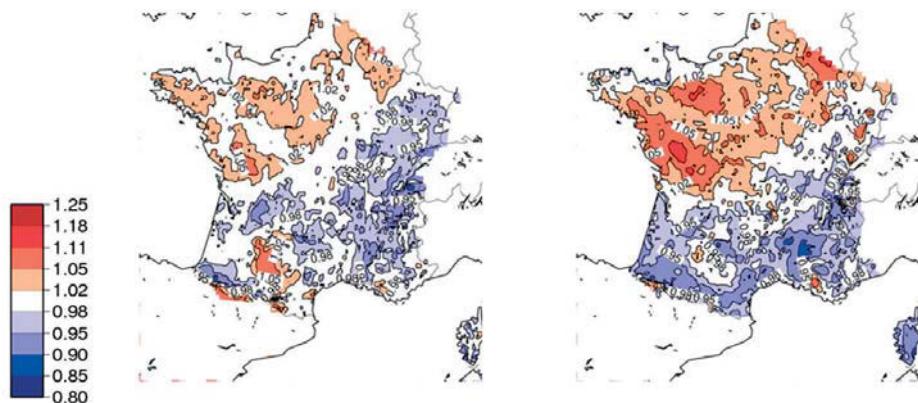


Figure C14 – Rapport entre l'intensité moyenne du vent maximal hivernal pour les périodes 2021-2050 (à gauche) et 2071-2100 (à droite) et l'intensité moyenne du vent maximal hivernal de la période.

Source : SCAMPEI

Inondations : crues lentes, crues rapides, submersions

Auteur : Florence Habets,
Université Pierre et Marie Curie

On distingue ici différents cas d'inondation, principalement parce que les mécanismes générant ces inondations diffèrent, et que l'évolution de ces mécanismes dans le contexte du changement climatique peut être plus ou moins difficile à estimer.

De fait, les projections de l'évolution des inondations sont à ce jour encore assez rares (une exception récente mais sur un petit domaine a été étudiée par Grelier en 2017), et les études se focalisent plus souvent sur des risques de crues des cours d'eau. Ces crues ne sont pas toujours débordantes, et ne génèrent donc pas forcément des inondations. La notion de crue peut suffire à anticiper un risque d'inondation, si on considère qu'à une intensité de débit en un point correspond une hauteur d'eau donnée, et donc, un risque de débordement. Cependant, le fait de se focaliser sur les crues en rivière laisse de côté un type d'inondation dont l'occurrence risque d'augmenter avec le changement climatique : les inondations locales liées à des précipitations intenses mais pas forcément très étendues spatialement.

Ainsi, on considère tout d'abord **les inondations associées à des épisodes de précipitations intenses.**

L'extension spatiale de ces précipitations intenses peut être assez réduite, et la durée assez brève, au point que la rivière à proximité puisse ne pas être en crue malgré la présence de zone inondée.

Bien que ce type d'événement soit difficile à reproduire par les modèles de climat actuel, une tendance à la hausse est projetée sur l'ensemble de la France (voir chapitre B). Or on peut s'attendre à ce que des événements précipitants de l'ordre de 100 mm/jour génèrent des inondations, principalement dans les zones imperméabilisées. Une particularité de ce type d'inondation est qu'il peut atteindre des zones qui peuvent être éloignées (ou très au-dessus) d'une rivière et qui ne sont donc pas forcément préparées aux inondations, avec des risques accrus concernant les conséquences en termes de pollution et/ou risque industriel. Ainsi, même si l'évolution de ce risque est difficilement quantifiable, il faut l'intégrer, et anticiper des moyens de prévention.

Un cas particulier est le cas des événements dits « cévenols », qui impactent le sud méditerranéen de la France principalement en automne et ce, quasiment tous les ans. Ces épisodes sont non seulement intenses, mais souvent étendus spatialement, et génèrent **des crues rapides** souvent dévastatrices. Des études spécifiques ont été menées pour anticiper l'évolution de ces épisodes dans un contexte de changement climatique (par exemple Beaulant *et al.*, 2011, Colmet Daage *et al.*, 2018, Drobinski *et al.*, 2018). L'ensemble de ces études s'accordent sur une augmentation de l'intensité de ces précipitations extrêmes avec le changement climatique, avec, de plus, une extension des zones impactées au-delà des régions habituellement touchées, notamment, vers le Sud-Est ou les Pyrénées. Le risque associé à ces crues rapides « cévenoles » augmente donc avec le changement climatique (voir Annexe 3).

D'autres crues rapides peuvent se former lors d'une fonte rapide et importante du manteau neigeux, causée par exemple par une forte évolution de la température ou des précipitations (même modérées) sur ce manteau neigeux. La conjonction de ces épisodes reste difficile à projeter dans le futur, du fait notamment de la complexité propre aux zones de relief (Lafaysse *et al.*, 2014). Même si les projections s'accordent sur une baisse du manteau neigeux (Dayon *et al.*, 2018 ; Verfaillie *et al.*, 2018 ; Beniston *et al.*, 2018), la fonte plus précoce du manteau neigeux avec le changement climatique pourrait impliquer un phasage plus fréquent avec un bassin aval humide (car en condition hivernale), ce qui pourrait maintenir ce risque de crue.

Les **crues lentes** sont associées à des précipitations importantes sur des durées assez longues (une à plusieurs semaines voire plusieurs mois), et/ou sur des bassins assez grands. Ces événements sont *a priori* plus à la portée des modèles de climat, même si les sources d'incertitudes restent importantes. De rares études se sont focalisées sur des crues centennales (par exemple Dumas *et al.*, 2013). En effet, l'estimation statistique de ces changements est moins fiable lorsqu'on utilise des projections climatiques d'une centaine d'années seulement. Ainsi, l'évolution des crues lentes est en général analysée via l'évolution des crues décennales, qui restent des événements assez rares au vu des périodes étudiées. Cependant, ces crues ne sont en général pas débordantes aujourd'hui, et ne sont donc pas forcément des bons indicateurs de l'évolution des inondations par crues lentes.

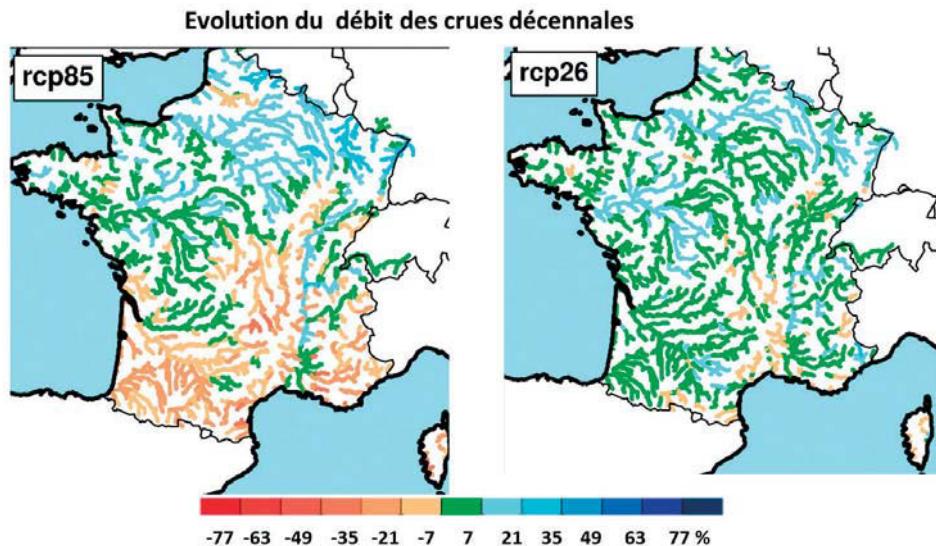


Figure C15 – Moyenne d’ensemble des changements relatifs du débit journalier maximal d’une période de retour de dix ans entre les périodes 2070-2100 et 1960-1990 pour les scénarios d’émission RCP8.5 (à gauche) et RCP2.6 (à droite)

Source : figure issue de Dayon, 2015.

La figure C15 présente ainsi les évolutions des crues décennales en France métropolitaine en moyenne sur plusieurs projections réalisées avec les deux scénarios d'émission les plus contrastés RCP8.5 et RCP2.6. Globalement, il y a une tendance à la diminution ou à la stabilité des crues décennales dans le Sud, et à une augmentation ou une stabilité dans le Nord, avec des modifications plus intenses pour le scénario RCP8.5.

L'évolution du **risque d'inondations par remontée de nappes** a été étudiée indirectement via l'analyse de l'évolution des hauts niveaux de nappes sur les aquifères sédimentaires de la moitié nord de la France dans le cadre des travaux menés dans le projet Aqui-FR⁶ et de la convention service climatique⁷, en utilisant les projections climatiques régionalisées de Dayon et al., 2018. Les premiers résultats analysés sur les scénarios d'émission RCP2.6 et RCP8.5 montrent que si la fréquence et l'intensité des hautes eaux change peu à la fin du xx^e siècle (2070-2100 comparé à 1980-2010), les surfaces impactées sont, elles, réduites en moyenne de 10 % à 25 % pour les scénarios d'émission RCP2.6 et RCP8.5, respectivement. On peut donc estimer que globalement ce risque diminue en France, même s'il ne disparaît pas, et ce, bien que l'intensité des crues décennales augmente. Cela est en lien avec la diminution prévue de la ressource en eau souterraine.

6. www.metis.upmc.fr/~aqui-fr

7. <https://convention-services-climatiques.lsce.ipsl.fr/demonstrateurs>

Laves torrentielles

Auteur : Vincent Jomelli,

Institut national de recherche en sciences et technologies
pour l'environnement et l'agriculture

Une étude portant sur des coulées de débris non chenalées se produisant dans le massif des Écrins à l'horizon de la fin de ce siècle, semble indiquer que l'augmentation de l'occurrence des coulées de débris sur la période 1970-2005 ne devrait pas se maintenir en toute région ni en toute période notamment du fait de la sensibilité de la fréquence de cet aléa aux conditions de gel et au retrait des glaciers (Jomelli et al., 2009).

Forts de ces résultats, on a tenté de comprendre la réponse possible des laves torrentielles au changement climatique pour trois périodes distinctes (1970-2000, 2030-2060 et 2070-2100). Ces tests ont été conduits à partir de différents scénarios climatiques en pratiquant une descente d'échelle, du modèle à maille variable Arpege, du modèle zoomé LMDZ de l'Institut Pierre-Simon-Laplace (IPSL) ou encore en utilisant les sorties à haute résolution d'ALADIN de Météo-France (Jomelli, et al., 2007 ; 2009 ; 2012 ; Pavlova et al., 2014), ou d'autres simulations (Turkington et al., 2016). Les résultats montrent, en général, quels que soient le modèle et le scénario climatique utilisés, une augmentation significative de la probabilité de déclenchement de laves torrentielles dans les Alpes pour la fin du siècle. Les résultats sont, en revanche, un peu plus contrastés selon les régions et les modèles pour le milieu du xx^e siècle. L'ensemble de ces résultats doit cependant être pris avec beaucoup de prudence car plusieurs problèmes méthodologiques restent à résoudre. Le principe repose sur une modélisation statistique probabiliste couplant un recensement imparfait des laves torrentielles avec des données météorologiques actuelles, modélisation qui est ensuite forcée par des scénarios climatiques ayant leurs propres incertitudes. À ces incertitudes s'ajoutent d'autres interrogations que nous pouvons lister ici sans être exhaustif :

- Tout d'abord, cette approche statistique, fondée sur un forçage des relations observées actuellement entre le climat et le déclenchement des laves, en utilisant des scénarios climatiques futurs, suppose une stationnarité spatio-temporelle de cette relation climat-laves torrentielles. Or cette hypothèse n'est pas vérifiée.
- Ensuite, ces modèles statistiques n'intègrent pas la variabilité environnementale qui, nous l'avons vu, joue un rôle certain dans le fonctionnement de ces processus.
- Enfin, plus important encore, ces modèles ne considèrent que les aspects climatologiques. Or on sait qu'une lave se déclenche si et seulement si un stock de débris mobilisable est disponible. La variabilité spatio-temporelle de ce stock de débris est encore très mal documentée (Veyrat-Charvillon et Meunier, 2006 ; Theule et al., 2012 ; 2015) et son évolution dans le futur encore plus incertaine.

Ce stock est parfois appréhendé à partir d'une approche « pseudo-proxy » en considérant, par exemple, le nombre de jours de gel depuis le dernier événement, ou le nombre de jours depuis l'hiver précédent l'événement (Jomelli et al., 2003 ; Bel et al., 2017) (fig. C16). Mais cette approche doit, à l'avenir, être largement améliorée pour espérer atteindre des résultats robustes.

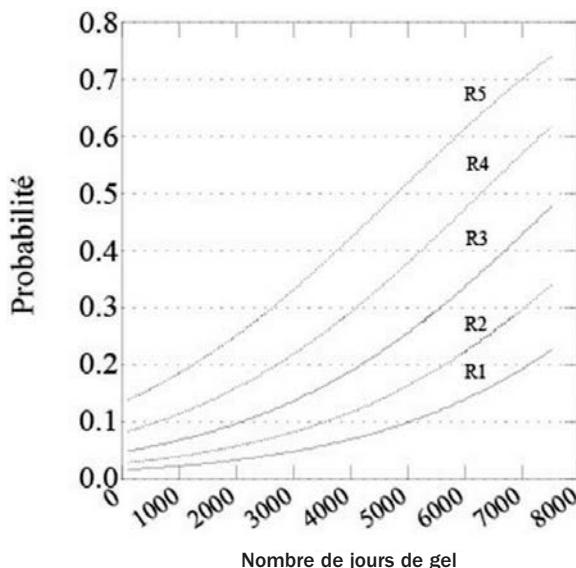


Figure C16 – Probabilité de déclenchement d'une lave torrentielle dans les Alpes françaises en fonction du cumul de jours de gel depuis le dernier événement et le nombre de fois (R_i) ou les précipitations excèdent 30 mm/j pendant l'été

Source : d'après Jomelli et al., 2003.

En tout premier lieu, des recherches doivent être engagées sur la reconstitution du stock de débris en relation avec le climat. Nous l'avons dit précédemment, cet aspect est crucial pour améliorer les connaissances sur le fonctionnement des laves. Des observations à partir de bassins-versants expérimentaux ont permis de mettre en évidence une cyclicité saisonnière dans la reconstitution et la mobilisation du stock dont dépend l'intensité des laves (Theule et al., 2012). Ce type d'approche doit être généralisé pour étudier les variables influençant le bilan sédimentaire.

Un meilleur transfert des connaissances sur le fonctionnement des laves d'une échelle spatiale à l'autre est aussi nécessaire. Aujourd'hui, les résultats acquis sur les relations entre le déclenchement et les pluies obtenus à l'échelle du bassin-versant ne peuvent pas être généralisés à un plus large territoire. À court terme, il serait, sans doute, pertinent d'étudier ces relations entre les conditions météorologiques et le déclenchement des laves à l'échelle du bassin-versant en utilisant des variables dont le pas de temps est identique à celui disponible à

l'échelle régionale. À plus long terme, une meilleure connaissance des précipitations intenses au pas de temps horaire tenant compte des effets orographiques à une échelle régionale sera un atout certain.

Approfondir les connaissances sur l'activité des laves torrentielles sur ces derniers siècles permettrait de mieux appréhender les relations entre le fonctionnement de ce processus et le climat. Il serait aussi plus aisément d'identifier les impacts multiples de l'homme non seulement sur le climat mais aussi sur le bassin-versant en modifiant notamment la végétation et le profil en long par des aménagements (Strunk, 1992; Blikra et Nemec, 1998; Stoffel et al., 2005; Helsen et al., 2002; Jomelli, 2013).

Il est enfin nécessaire de poursuivre les efforts sur la vulnérabilité associée au fonctionnement de ce processus. Divers champs ont été explorés comme la vulnérabilité du bâti ou du réseau routier (Mallet et al., 2006; Puissant et al., 2014). Des tests d'interruption s'appuyant sur différents scénarios socio-économiques ont été proposés pour estimer les coûts et les meilleures solutions (Utasse et al., 2016). Cependant des recherches visant à accroître la résilience fondée, notamment, sur une analyse du retour d'expérience pourraient être réalisées de façon systématique aux échelles locales et régionales. Autant de pistes que les chercheurs pourront développer en partenariat avec la société civile et les futurs décideurs.

Avalanches

Auteurs : Nicolas Eckert, Thierry Faug, Florie Giacoma, Jérôme Lopez-Saez, Mohamed Naaim,

Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture/université Grenoble Alpes

Christophe Corona,

GEOLAB, Centre national de la recherche scientifique, Clermont-Ferrand

Samuel Morin,

Météo-France – Centre d'étude de la neige, Grenoble

Les évolutions futures de l'activité avalancheuse peuvent être en partie déduites des projections climatiques, une fois celles-ci adaptées à la topographie des massifs montagneux et associées à des simulations d'évolution du manteau neigeux. Ainsi, pour les Alpes françaises, la combinaison de réanalyses nivo-météorologiques fines et de relations statistiques avalanche-climat a permis de projeter, sous l'hypothèse d'un scénario d'évolution future d'émission de gaz à effet de serre moyen (scénario A1B GIEC, Rapport SREX), une diminution globale de 20 % à 30 % de l'activité avalancheuse au cours du xx^e siècle par rapport à la période 1960-1990 dite « de référence » (fig. C17a, Castebrunet et al., 2014).

La baisse attendue est bien plus drastique au printemps et à basse altitude du fait d'une réduction très forte du manteau neigeux (fig. C17c). En revanche, on s'attend à une augmentation de l'activité avalancheuse dès lors que le manteau

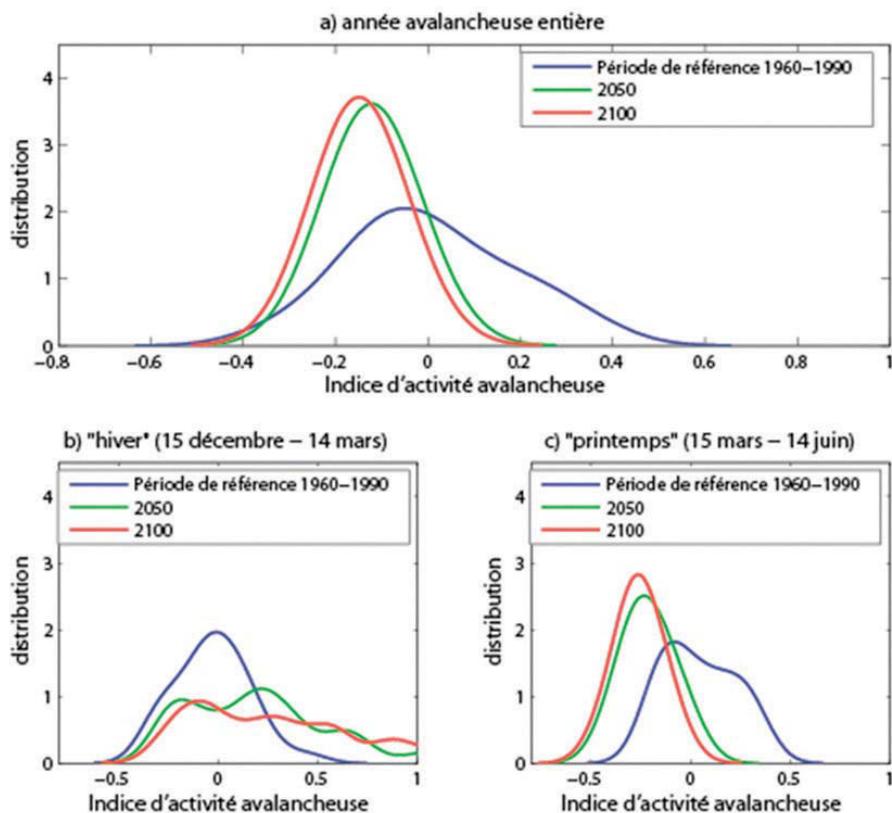


Figure C17 – Projections futures sous hypothèse d'un scénario d'évolution des émissions de gaz à effet de serre « moyen » : distribution interannuelle d'un indice d'activité avalancheuse totale standardisé par rapport à la période de référence 1960-1990 :
a) Hiver entier; b) Plein hiver; c) Printemps

neigeux restera suffisamment important, c'est-à-dire en plein hiver à haute altitude (fig. C17b). Pour les indicateurs annuels et saisonniers, les changements attendus sont déjà importants pour 2050, et la période 2050-2100 ne verra qu'une poursuite des évolutions déjà engagées, et, en partie, déjà réalisées par rapport à la période 1960-1990.

Ces projections sont légèrement modifiées sous l'hypothèse de scénarios d'évolution des émissions de gaz à effet de serre plus maîtrisée (diminution moins marquée de l'activité avalancheuse globale) ou, au contraire, plus « catastrophique » (diminution plus marquée de l'activité avalancheuse globale). La sensibilité au choix du scénario reste cependant assez faible sur les indicateurs globaux, de sorte que cette tendance à la baisse de l'activité avalancheuse globale semble assez robuste.

Aucune étude spécifique, ni en France ni ailleurs, n'a pour l'instant ciblé spécifiquement les projections d'avalanches de grande ampleur, mais étant donné les résultats obtenus sur le passé, on peut penser que leur tendance moyenne au

recul devrait se poursuivre au fur et à mesure que les conditions hivernales leur seront moins favorables. Deux bémols doivent toutefois être apportés à ce postulat. D'abord une tendance moyenne au recul n'exclut pas que, de manière *a priori* de plus en plus sporadique, des avalanches de grande ampleur continuent à se produire, les hivers 2008-2009 (Eckert et al., 2010) et 2017-2018 l'ont amplement démontré dans les Alpes françaises. Ensuite, les avalanches de neige humide de grande ampleur sont à l'origine d'un risque spécifique, vraisemblablement en train d'augmenter (fig. C18).

Vers plus d'avalanches humides :

Au cours des récents hivers, les Alpes françaises ont en effet connu une succession de périodes de forte activité d'avalanches de neige humide. L'évolution de la part des avalanches de neige humide dans l'activité totale a été le premier résultat, obtenu dès le tournant des années 2000 (Martin et al., 2001), des études de simulation visant à étudier l'impact du réchauffement climatique sur l'activité avalancheuse. Il est à présent étayé par des analyses statistiques systématiques (Naaim et al., 2016) et constitue un lien intuitif entre observations et projections : l'activité avalancheuse de neige humide se manifeste déjà et/ou se manifestera dans le futur plus précocement à toutes les altitudes, en particulier dans des secteurs et durant des périodes où elle est pour l'instant peu importante, voire quasi inexistante (haute altitude et/ou en « plein hiver », fig. C17b). Hors des Alpes, cette évolution a été mise en évidence en Himalaya à l'aide d'analyses dendrogéomorphologiques (Ballesteros-Canovas et al., 2018).



Figure C18 – Dépôts d'avalanche de neige humide de grande ampleur, janvier 2018, Bessans, Savoie

Photo : Irstea.

Au cours des périodes récentes d'activité d'avalanches de neige humide, des événements de grande voire très grande ampleur avec des conséquences spectaculaires en matière de dommages aux infrastructures ont été observés. Ainsi la destruction de la gare du téléski de Saint-François-Longchamp en 2013 a été marquante en raison de la dynamique particulière de l'avalanche qui l'a causée. D'extension importante, malgré sa vitesse réduite, elle a plié les deux premiers pylônes. L'augmentation de l'humidité de la neige peut ainsi conduire à des avalanches catastrophiques pour deux raisons : une augmentation des distances parcourues et des trajectoires « imprévisibles » du fait d'un coefficient de frottement effectif faible (mécanisme de lubrification), et des pressions d'impact restant très élevées malgré des vitesses nettement plus faibles que celles des écoulements de neige sèche (Ancey et Bain, 2015). Pour établir que le risque lié aux avalanches de neige humide augmente effectivement avec le réchauffement, notre connaissance du comportement mécanique de la neige humide reste toutefois à affiner. De même, les tendances passées et futures dans les évolutions des avalanches de neige humide de grande ampleur et les dommages associés restent à étudier.

Conclusions

Auteur : Marie Carrega,
MTES, DGEC/SCEE/ONERC

La France, du fait de sa situation géographique, est soumise à une grande diversité d'aléas naturels. Pris de manière indépendante, aucun événement climatique ne peut être attribué en tant que tel au changement climatique. Toutefois, les travaux de recherche établissent que le changement climatique vient modifier l'occurrence de certains aléas.

En métropole, on peut ainsi anticiper que, dès la période 2021-2050, les vagues de chaleur estivales deviendront plus fréquentes, plus longues et plus intenses, avec des évolutions plus marquées encore pour le quart Sud-Est de la France. Un épisode tel que celui de l'été 2003, pourrait se produire à l'horizon 2050 mais il resterait exceptionnel. D'ici la fin du siècle, pour le scénario tendanciel, un tel phénomène deviendrait en revanche courant, voire serait régulièrement dépassé, tant en intensité qu'en durée.

À l'inverse, les vagues de froid seront moins fréquentes, moins longues et moins intenses mais ne disparaîtront pas complètement.

Le risque de sécheresse devrait s'aggraver, avec une aggravation plus rapide et plus intense des sécheresses liées au déficit d'humidité du sol plutôt qu'au déficit de précipitation. La France risque donc de connaître, d'ici 2100, des sécheresses agricoles quasi continues et de grande intensité, totalement inconnues dans le climat actuel.

Les évolutions attendues pour les pluies extrêmes sont variables géographiquement, cependant une tendance générale se dessine, avec une augmentation de la quantité de pluie tombant au cours des épisodes les plus extrêmes – comme les phénomènes dits « cévenols » (voir Annexe 3) – principalement en hiver, avec, de plus, une extension des zones impactées au-delà des régions habituellement touchées, notamment, vers le Sud-Est ou les Pyrénées.

Les territoires exposés aux risques d'incendies de forêts devraient être plus étendus, couvrant une part importante de la forêt des Landes à l'horizon 2040 et les forêts de Sologne à l'horizon 2060.

Le réchauffement des océans, accompagné de la fonte des glaciers, engendre une hausse du niveau marin de plusieurs millimètres par an, en accélération sur les dernières décennies. D'ici 2100, l'augmentation devrait être de plusieurs dizaines de centimètres, voire un mètre, de manière non uniforme selon les côtes. Cela est de nature à accroître le risque de submersion marine mais aussi, selon les côtes, les effets d'érosion littorale (ONERC, 2015). Un rapport spécial du GIEC sera publié en 2019, permettant de mieux évaluer la hausse attendue du niveau moyen des mers.

Dans les Alpes françaises, d'ici la fin du siècle, le nombre d'avalanches pourrait diminuer même si l'activité avalancheuse de neige humide se manifeste déjà et/ou se manifestera dans le futur plus précocement, quelle que soit l'altitude. Toutefois les processus générateurs de risque en montagne sont nombreux et complexes et leur évolution avec le climat sujet à discussion (Beniston *et al.*, 2018; Stoffel et Huggel, 2012).

Par ailleurs, les déclenchements de laves torrentielles devraient augmenter significativement.

Les études actuelles ne permettent pas de mettre en évidence une tendance future notable sur l'évolution du risque de vent violent lié aux tempêtes. Les projections ne montrent en effet aucune tendance significative de long terme sur la fréquence et l'intensité des tempêtes, que ce soit à l'horizon 2050 ou à l'horizon 2100.

En outre-mer, les simulations du climat pour le xx^e siècle indiquent que les cyclones ne devraient pas être plus nombreux. En revanche, le nombre de cyclones de forte intensité devrait augmenter.

Chapitre D

Prévention et gestion des risques liés aux événements climatiques extrêmes

**Auteurs : Laure Tourjansky, Emmanuel Vullierme et
le service des risques naturels hydrauliques,
MTES, DGPR/SRNH**

**Marie Carrega, Jérôme Duvernoy, Sarah Voirin,
MTES, DGEC/SCEE/ONERC**

© Laurent Mignaux – Terra



La prévention et la gestion des risques, un élément majeur de l'adaptation au changement climatique

Les événements climatiques extrêmes (inondations, sécheresses, tempêtes, cyclones, etc.) font régulièrement de nombreuses victimes dans le monde et des dommages considérables. Du fait de la diversité des territoires français : métropole, outre-mer ; territoires traversés par un important réseau hydrographique, montagne, campagne, littoral, concentration d'enjeux dans les villes, la France subit des événements extrêmes très variés. Les catastrophes survenues ces dernières années en France rappellent que notre territoire est particulièrement exposé avec, en particulier, les crues du Var en 2015, les crues sur les bassins du Loing, de la Seine et de la Loire au printemps 2016, le cyclone Irma en septembre 2017, la tempête Eleanor en janvier 2018. La forte mobilisation médiatique lors de ces événements ne doit pas faire oublier que la prévention des risques naturels se fait nécessairement dans la durée, en intégrant les évolutions attendues du climat. La prévention s'articule bien sûr avec la préparation et la gestion de crise lorsqu'un événement à risque surgit.

Qu'ils soient d'origine climatique ou non (on pense en particulier aux séismes), la réponse aux événements extrêmes est abordée par les pouvoirs publics dans une approche systémique. La politique de prévention des risques naturels majeurs a pour objectif de réduire l'exposition aux risques des populations et à les rendre moins vulnérables. Elle vise à prévenir les atteintes à la vie humaine, et réduire, autant que possible, les conséquences prévisibles et les dommages potentiels des événements ; à gérer efficacement les crises et les catastrophes quand elles surviennent, anticiper les situations post-crise et réparer les dommages.

Cette politique est structurée par plusieurs textes, à commencer par la loi Barnier¹, et inscrite dans les lignes directrices édictées par l'ONU dans le cadre de Sendai pour la réduction du risque de catastrophes. Si le cadre est avant tout donné par l'État, cette politique trouve son efficacité dans la mobilisation de nombreux acteurs, à commencer par les collectivités locales car elle s'articule étroitement avec l'aménagement du territoire, mais aussi les entreprises et les citoyens. Aussi, la politique de prévention des risques naturels menée par l'État comporte des actions régaliennes (information préventive, élaboration de plans de prévention des risques naturels) et des dispositifs d'accompagnement tels que la mobilisation du fonds de prévention des risques naturels majeurs, dit « Fonds Barnier ».

Dans le cadre de l'élaboration du deuxième plan national d'adaptation au changement climatique (ONERC, 2017), les discussions relatives à la prévention des risques naturels et à la résilience des territoires ont largement conforté la politique mise en œuvre et mis en avant des axes nouveaux : la nécessité d'un portage local de cette politique qui émane des territoires, une approche jacobine n'étant

1. Loi n° 95-101 du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement

plus suffisante ; le besoin permanent d'une mise à jour des connaissances et d'un approfondissement de la connaissance des aléas les plus impactés par le changement climatique ; la mise en place d'outils nouveaux de transformation des territoires.

Une hausse de 2 °C de la température moyenne de la planète d'ici la fin du siècle se déclinerait de façon différenciée selon ces territoires mais s'accompagnerait partout de changements importants dans le régime des précipitations et dans la fréquence et la sévérité des événements extrêmes. Ces changements seront moins importants si l'on arrive à contenir l'augmentation de la température terrestre en limitant les émissions de gaz à effet de serre anthropiques. Toutefois, du fait de l'inertie du système climatique, même si l'on parvenait à arrêter dès maintenant toute émission de gaz à effet de serre, le climat de la Terre continuerait à changer pendant plusieurs décennies et la hausse du niveau des mers se poursuivrait pendant plusieurs siècles. Il faut donc se préparer à ces changements.

La définition de l'adaptation au changement climatique a été affinée au rythme des rapports du GIEC. Si le dernier rapport définit l'adaptation comme « *la démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences* », elle peut être appréhendée d'un point de vue plus sociétal par « *l'ensemble des évolutions d'organisation, de localisation et de techniques que les sociétés devront opérer pour limiter les impacts négatifs de ces changements et maximiser leurs effets bénéfiques* » ; ainsi, éloigner les populations et les activités économiques de zones rendues inondables par le changement climatique, adopter des variétés de plantes plus résistantes et mieux adaptées aux climats du futur, ajuster les réseaux énergétiques aux variations attendues de la consommation d'énergie, adapter les infrastructures de transport ou réhabiliter des zones urbaines après des désastres naturels liés au changement climatique sont toutes des actions d'adaptation (de Perthuis, 2010).

Les possibilités d'adaptation sont nombreuses mais, pour réduire la vulnérabilité au changement climatique actuel et futur, différentes étapes d'adaptation seront nécessaires :

- Adaptation autonome ou spontanée : adaptation en réponse à un aléa climatique vécu ou à ses effets, sans aucune préméditation explicite ou consciente et axée sur la lutte contre le changement climatique ;
- Adaptation incrémentale : mesures d'adaptation ayant pour objectif principal le maintien de la nature et de l'intégrité d'un système ou d'un processus à une échelle donnée ;
- Adaptation transformationnelle : adaptation qui change les éléments fondamentaux d'un système en réponse au climat et à ses effets.

Il existe une intersection entre les activités des communautés travaillant sur l'adaptation au changement climatique et celles travaillant sur la réduction des risques de catastrophe. Les deux visent à réduire les impacts négatifs du changement climatique et des catastrophes, sur l'environnement naturel, la société humaine et les économies en anticipant les risques et les incertitudes et en cherchant à réduire leurs vulnérabilités (Mitchell et al., 2010). Comme le changement climatique

rendra en général les événements extrêmes plus fréquents et plus intenses, il est primordial d'assurer la meilleure cohérence possible entre la politique de prévention et de gestion des risques et celle de l'adaptation au changement climatique, tant au niveau des pratiques qu'au niveau des politiques nationale, régionale et communale/intercommunale.

En Europe, la France est l'un des pays les plus avancés en matière de planification de l'adaptation au changement climatique, avec une Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique publiée en 2006 et un premier Plan national d'adaptation au changement climatique couvrant la période 2011-2015. Le deuxième Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC-2) a notamment pour objectif de « mieux protéger les Français face aux événements climatiques extrêmes » comme inscrit dans le Plan climat du gouvernement publié le 6 juillet 2017 (axe 19). Il vise ainsi à réduire les impacts des catastrophes naturelles sur la sécurité et la santé, sur les biens économiques, physiques, sociaux, culturels et environnementaux des personnes, des entreprises et des collectivités, dans le contexte du changement climatique. La phase de concertation préalable à l'élaboration de ce plan a été notamment nourrie par un groupe de travail spécifiquement dédié à l'élaboration de recommandations en matière de prévention et gestion des risques naturels dont certaines portaient directement sur les événements extrêmes. D'autres groupes de travail thématiques ont également apporté leurs contributions à l'amélioration de la gestion des événements extrêmes dans un contexte climatique changeant. Étant donné que de nombreux territoires, secteurs d'activités et écosystèmes sont et seront impactés par le changement climatique, la politique nationale d'adaptation apparaît clairement comme une politique publique « transversale ». Le domaine d'action « Gouvernance » du PNACC-2 vise ainsi à renforcer le pilotage stratégique de la démarche d'adaptation dans une logique de coconstruction avec les échelons de gouvernance territoriaux, incluant les acteurs locaux et la société civile.

Le changement climatique, loin de remettre en cause les outils de la prévention et de la gestion des risques naturels, leur donne une nouvelle actualité et fait ressortir la nécessité de les mobiliser au mieux. La limitation de l'exposition d'enjeux (habitations, entreprises...), existants ou nouveaux, doit, plus que jamais, être une priorité dans le contexte d'aléas croissants, et se faire dans une démarche d'aménagement durable des territoires. Des évolutions éventuelles devraient alors porter en premier lieu sur les leviers permettant l'adhésion des parties prenantes à cette prévention afin qu'elle ne soit pas perçue uniquement comme une contrainte et s'insère pleinement dans une démarche plus globale et transversale d'adaptation au changement climatique.

La prévention des risques naturels majeurs, un enjeu qui requiert la mobilisation de tous

Les instances onusiennes de l'*United Nations system for disaster risk reduction* (UNISDR) ont adopté le cadre d'action de Sendai 2015-2030 qui reconnaît pour la première fois le rôle du changement climatique comme facteur de risques de catastrophes. Il s'articule avec l'accord de Paris sur le climat, adopté en décembre 2015, et les objectifs de développement durable établis par les États membres des Nations unies rassemblés dans l'Agenda 2030. Il succède au cadre d'action de Hyogo pour la période 2005-2015.

Pour écarter les nouveaux risques tout en réduisant les risques existants, le cadre de Sendai définit quatre priorités à l'échelle mondiale :

- **comprendre** les risques de catastrophe ;
- renforcer la **gouvernance** des risques de catastrophe pour mieux les gérer ;
- **investir** dans la réduction des risques de catastrophe aux fins de la résilience ;
- **renforcer l'état de préparation** aux catastrophes pour intervenir de manière efficace et pour « mieux reconstruire » durant la phase de relèvement, de remise en état et de reconstruction.

La politique française de prévention des risques naturels s'inscrit dans ce cadre.

Les leviers de l'État

Le cadre européen est donné depuis 2007 par une directive, centrée uniquement sur l'aléa inondation qui est l'aléa naturel le plus présent en Europe (directive n° 2007/60/CE, relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation). Dans le cadre de cette directive, chaque pays de l'union européenne est tenu de rapporter tous les six ans les efforts entrepris pour réduire les conséquences négatives des inondations sur son territoire.

En matière de protection des populations, et face à des situations d'urgence de grande ampleur auxquelles ne pourrait pas faire face seule la protection civile d'un pays, l'Union européenne a instauré en 2001 un mécanisme européen de protection civile qui permet aux pays de coordonner leur aide. Grâce à un travail de sensibilisation, de formation, d'échanges d'experts et à l'organisation d'exercices de simulation, il contribue à préparer et à limiter les conséquences des catastrophes.

À l'échelle nationale, le ministère de la Transition écologique et solidaire est porteur de la politique de prévention des risques naturels et de la prévision des crues. Il s'appuie sur le ministère de la Cohésion des territoires pour la prise en compte des risques dans l'urbanisme et le contrôle du respect des règles de construction. Le ministère de l'Économie assure la tutelle du secteur des assurances en charge de l'indemnisation en cas de sinistre. Les ministères en charge de l'Agriculture, de la Santé, des Affaires étrangères, de la Culture et de l'Éducation nationale contribuent également, dans leurs domaines de compétences, à la prévention

des risques. Le directeur général de la prévention des risques du ministère de la Transition écologique et solidaire, en tant que délégué aux risques majeurs, assure une coordination avec le ministère de l'Intérieur (DGSCGC) qui intervient en cas de crise (voir page 128, « Préparer et gérer la crise »).

L'État met en œuvre des actions dans les domaines législatif, réglementaire et technique, pour améliorer la prévention et la réduction des risques à la source d'une part et, d'autre part, l'information et la protection des citoyens. Les ministères s'appuient sur plusieurs opérateurs dont les actions concernent en premier lieu la connaissance du risque à travers des projets de recherche, l'observation et la prévision des aléas, les mesures de la réduction de la vulnérabilité, qui peuvent également être mobilisés en gestion de crise. Au global, le ministère de la Transition écologique et solidaire consacre environ 30 millions d'euros par an à la prévention des risques naturels, dont un tiers est destiné aux opérateurs, un autre tiers au réseau de prévision des crues et le dernier tiers à des acquisitions de connaissance, des actions d'amélioration de la culture du risque, des opérations de communication et le fonctionnement des services.

L'État a également un rôle important pour accompagner les parties prenantes de la prévention des risques. Le soutien à la prévention s'appuie largement sur le Fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM, appelé aussi « fonds Barnier ») créé en 1995 et doté, via les contributions des assurés au titre du dispositif CatNat, d'environ 200 millions d'euros par an, plafonné à 137 millions en recettes pour la Loi de finances de 2018. La mise en place et l'utilisation du FPRNM visent à permettre un équilibre entre des mesures de prévention efficaces et l'indemnisation postcatastrophe. Sur la période 2012-2017, il a été mobilisé à près de 50 % pour la prévention des inondations par débordement de cours d'eau, à 13 % pour la submersion marine, à près de 10 % pour les mouvements de terrain.

S'il a d'abord permis de financer les délocalisations de biens exposés à un risque naturel majeur (38 % sur les dépenses cumulées entre 2010 et 2017), son utilisation a progressivement été élargie par le législateur à d'autres catégories de dépenses : mesures de réduction de la vulnérabilité des biens et de l'aménagement du risque (40 %) et de connaissance de l'aléa et information préventive (14 %).

Les collectivités territoriales sont les premières utilisatrices du FPRNM, elles peuvent mobiliser jusqu'à 125 millions d'euros sur la mesure « études et travaux des collectivités locales » qui constitue la principale mesure du FPRNM. Les territoires de Charente-Maritime, de Vendée ainsi que les Antilles Françaises ont mobilisé une part importante du FPRNM, suite aux catastrophes qui ont affecté ces territoires (tempête Xynthia, cyclone Irma, etc.) et du fait des enjeux spécifiques aux Antilles.

Les particuliers et les entreprises de moins de vingt salariés peuvent également en bénéficier sous certaines conditions.

Le cadre d'éligibilité au soutien du FPRNM exprime, de fait, des lignes directrices de la prévention des risques, partagées entre tous ses acteurs.

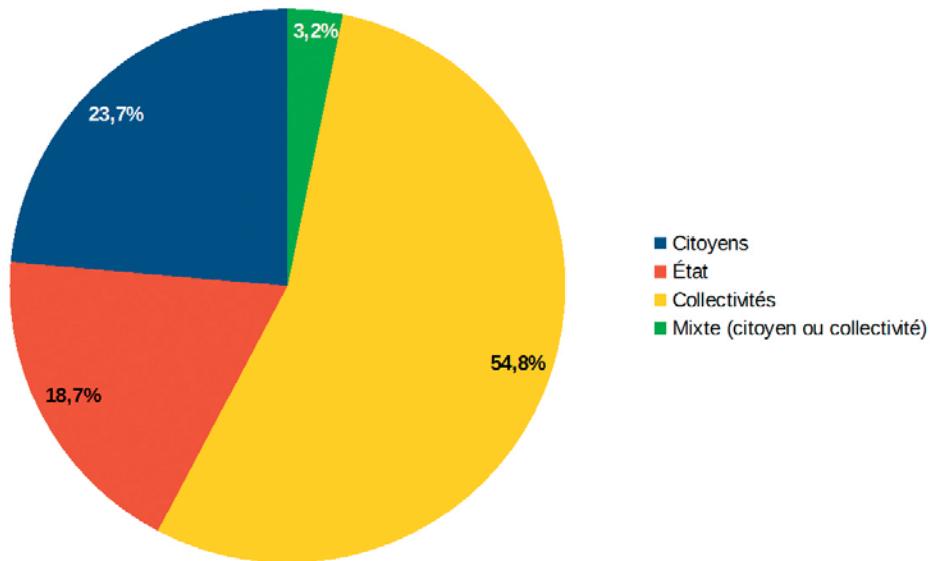


Figure D1 – Dépenses du fonds de prévention des risques naturels majeurs par type d'acteur

Source : ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES), 2017.

La mobilisation des collectivités locales

Les collectivités territoriales ont un rôle déterminant et croissant dans la prévention et la gestion des crises liées aux risques naturels. Le maire est chargé de la connaissance et de la diffusion de l'information sur les risques auprès de la population. En tant que responsable de l'aménagement et de la sécurité, il doit veiller à communiquer régulièrement sur la connaissance des risques sur son territoire, il est chargé de l'alerte et de l'organisation des secours en cas de crise. Il dispose à cet effet d'outils stratégiques et réglementaires tels que le Plan communal de sauvegarde (PCS) et le Plan local d'urbanisme (PLU).

Outre l'échelon communal, les intercommunalités – communautés de communes, d'agglomération, urbaines, métropoles – constituent des acteurs de premier plan en particulier en matière d'aménagement du territoire et de Gestion des milieux aquatiques et de prévention des inondations (Gemapi). C'est l'esprit des lois MAPTAM² en 2014 et NOTRe³ en 2015.

2. Loi n° 2014-58 du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles.

3. Loi n° 2015-991 du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République.

L’instauration de la compétence « Gemapi⁴ » depuis le 1^{er} janvier 2018 représente une évolution structurante dans la gouvernance en matière de gestion des milieux aquatiques et de prévention des inondations. La loi attribue cette compétence aux intercommunalités, de manière obligatoire et exclusive, compétence qu’elles ont la possibilité de déléguer ou transférer à des syndicats mixtes. Les collectivités départementales et régionales déjà impliquées pourront également poursuivre leur action en matière de compétence Gemapi. Cette compétence permettra, en particulier, la bonne gestion, dans la durée, des ouvrages hydrauliques – travaux et entretien des systèmes d’endiguement, des barrages écrêteurs de crues, des bassins de rétention – concourant à la prévention des inondations.

Les conseils départementaux et régionaux sont aussi impliqués dans la prévention des risques. Le conseil départemental, par exemple, définit les politiques d’investissement et finance le fonctionnement des différents services départementaux spécialisés. Pour les secours aux victimes, les Services départementaux d’incendie et de secours (SDIS) sont placés sous une double autorité – préfet et conseil départemental – pour la gestion opérationnelle et la gestion fonctionnelle des secours et sont chargés avec le Service d’aide médicale urgente (SAMU) des secours aux victimes. Etablissement public départemental, le SDIS élabore et met en œuvre, sous l’autorité du préfet, le Schéma départemental d’analyse et de couverture des risques (SDACR).

L’articulation territoriale de la politique de prévention des risques avec les autres politiques sectorielles dans une logique d’adaptation au changement climatique reposera notamment sur un réseau de comités régionaux de l’adaptation en métropole et outre-mer, dans le cadre de l’élaboration ou de la révision d’orientations et de schémas régionaux comme les SRADDET, SRCAE, SAR, PRFB, ...

En outre-mer, une meilleure résilience aux effets du changement climatique est prise en compte dans la mobilisation d’outils spécifiques. Les outils de programmation tels que les plans de convergence, les contrats de plan État-Région, les suites données au Livre bleu des outre-mer, les PRFB, mais aussi les documents de planification territoriale spécifiques à chacun des territoires ultramarins inscriront des actions en faveur de l’adaptation au changement climatique. Grâce à la mobilisation **d’outils financiers** adaptés, ces actions viseront à renforcer le développement et la maintenance des infrastructures, la recherche et l’amélioration de la connaissance au niveau régional et transfrontalier, la préservation des ressources et milieux naturels et des écosystèmes qu’ils abritent, et à faire des territoires ultramarins un atout stratégique quant aux relations avec les autres États de leur bassin de coopération régionale. Cette action permettra également de s’assurer de la cohérence de l’ensemble de ces actions entre l’échelon territorial et le niveau national.

4. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/gestion-des-milieux-aquatiques-et-prevention-des-inondations-gemapi>

Encadré 1

Financements internationaux et européens pour la prise en compte des événements extrêmes

De nombreuses sources de financement internationales et européennes existent pour développer les capacités d'observation, de mesure, d'alerte, et d'adaptation aux événements climatiques extrêmes mais elles sont parfois sous-utilisées au risque même de ne pas être pérennes.

Les données météorologiques sont souvent peu fiables ou totalement absentes dans de nombreux pays. L'initiative **CREWS** (*Climate risks and early warning systems*) a été lancée à Paris à la COP21 en 2015, à la suite de la troisième conférence sur la réduction des risques de catastrophes, à Sendai, en mars 2015 où les États partis s'étaient engagés à «*accroître significativement la disponibilité et l'accès à des systèmes d'alerte précoce multirisques, à l'information et aux évaluations sur les risques, pour les populations d'ici 2030*». Cette initiative a pour but d'aider les pays les plus vulnérables et les moins avancés et les petits États insulaires en développement à améliorer la prestation de services météorologiques et climatologiques et à augmenter leur capacité à produire et diffuser des alertes précoces efficaces, multirisques, axées sur les impacts, afin de protéger les personnes, les biens et les moyens de subsistance. L'objectif est de mobiliser 100 millions de dollars américains d'ici à 2020, afin de combler les lacunes des programmes bilatéraux et multilatéraux existants. La France fait partie des partenaires financiers de cette initiative et a contribué à hauteur de 10 millions d'euros entre 2017 et 2018 au financement du fonds fiduciaire. Afin de pérenniser cette initiative qui va dans le sens de ses engagements internationaux en matière de financement de la lutte contre le changement climatique, la France prévoit un renforcement de son implication dans l'initiative CREWS.

La France mobilise également d'autres fonds internationaux notamment le **Fonds vert pour le climat** pour financer la prévention des risques et l'adaptation au changement climatique dans les outre-mer. Le Fonds vert pour le climat a été mis en place par les 194 États partis à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques en 2010 à Cancún comme partie intégrante du mécanisme financier de la Convention. Il a pour but de financer à parts égales des projets d'atténuation et d'adaptation dans les pays en développement. À ce jour, les investissements du Fonds vert représentent 2,6 Md USD au profit de cinquante-quatre projets et programmes.

Dans l'objectif de consacrer 0,55 % du revenu national de la France, pour l'aide publique au développement d'ici cinq ans⁵ et de mettre en œuvre les actions du PNACC-2, les acteurs de l'aide au développement tels que l'AFD vont augmenter la part des financements de l'aide au développement

5. Discours du Président de la République Emmanuel Macron devant la 72^e Assemblée générale des Nations unies, 19 septembre 2017.

dédiée à l'adaptation, y compris la part des dons, à hauteur de 1,5 milliard d'euros à horizon 2020 et renforcer le volet adaptation au changement climatique dans les organisations multilatérales de financement du développement et du climat tels que le Fonds vert pour le climat.

Dans ce cadre, la contribution du ministère des outre-mer au Fonds vert permettant le financement de la prévention des risques et l'adaptation au changement climatique dans les outre-mer porte sur deux volets :

- un prêt à taux zéro «Fonds vert» dédié à la Nouvelle-Calédonie, la Polynésie française et à Wallis-et-Futuna ;
- une enveloppe d'assistance à maîtrise d'ouvrage de «l'équivalent Fonds vert». Cette enveloppe est destinée à financer l'identification, la structuration et l'évaluation des projets environnementaux financés par l'Agence française pour le développement (AFD) et à l'élaboration dans les régions ultrapériphériques des plans climat-air-énergie territoriaux. Les entités éligibles sont les collectivités territoriales ultramarines, leurs groupements et satellites, les entreprises publiques locales susceptibles d'être bénéficiaires d'un prêt AFD bonifié par l'équivalent «Fonds vert». Ainsi, une ligne budgétaire a été consacrée à un «équivalent Fonds vert» au sein de la mission «outre-mer» du budget général en 2017 et a été reconduite en 2018.

La France participe également au financement de la prévention des risques et à l'adaptation aux événements climatiques extrêmes au niveau européen, notamment à travers l'Accord de partenariat 2014-2020 entre l'Union européenne, l'État et les Régions qui acte la mobilisation d'une partie des fonds européens au financement de l'Objectif Thématique 5 – adaptation au changement climatique et prévention des risques (OT5). Les **Fonds européens structurels et d'investissement** (FESI) sont mobilisés pour soutenir des actions dans les régions particulièrement vulnérables et la priorité est donnée au développement de solutions de génie écologique. À cet effet, le **Fonds européen de développement régional** (FEDER) soutient des actions qui visent globalement à améliorer la protection des territoires et des populations exposés aux effets des aléas climatiques et aux risques, tandis que le **Fonds européen agricole de développement rural** (FEADER) intervient spécifiquement dans le domaine des sols (limitation des risques d'artificialisation, d'érosion et de perte de matière organique) et de la lutte contre les incendies. L'enjeu financier pour la France réside dans le fait de continuer à pouvoir mobiliser des financements européens au-delà de l'exercice actuel (2014-2020) malgré une sous-utilisation chronique des FESI. Le maintien d'un objectif thématique visant explicitement l'adaptation et la prévention des risques est essentiel pour permettre aux régions, l'ayant identifié comme prioritaire, de mobiliser un cofinancement européen à hauteur de 50 %. L'enveloppe fléchée pour la France au titre de l'OT5 pour le FEDER s'élève à 295 millions d'euros sur la période 2014-2020. Au 2 juillet 2018, seuls 36 % de ces fonds étaient programmés. C'est pourquoi le PNACC-2 souhaite faciliter et renforcer l'accès et la mobilisation des fonds européens par les porteurs de projets français.

Un travail en réseau

L'efficacité de la politique de prévention passe par une appropriation et un apport de tous les partenaires, dans **un travail en réseau**. Le **Conseil d'orientation pour la prévention des risques naturels majeurs** (COPRNM), créé par décret du 1^{er} août 2003, est un lieu de concertation et d'arbitrage composé d'élus, d'experts, de professionnels, de représentants de la société civile et des services de l'État, mobilisés sur les lignes directrices de cette politique. Une commission spécifique, la **commission mixte inondation**, organise et anime l'association des parties prenantes et contribue à la cohérence des dispositifs en vue de la gestion des risques d'inondation de tous types en France. Elle constitue l'instance de gouvernance nationale en matière de prévention des inondations.

Les **Assises nationales des risques naturels**⁶ réunissent, tous les deux ou trois ans, les acteurs de la prévention des risques naturels pour échanger et débattre sur l'état de la situation et les perspectives de réduction des catastrophes. Ces assises sont aussi l'occasion de contribuer au développement d'une culture commune du risque en mutualisant les connaissances des différents acteurs intervenant dans les domaines concernés par la prévention et la gestion des risques naturels. Services de l'État, élus, associations, assureurs, chercheurs, bureaux d'études, tous sont appelés à se mobiliser pour ces journées de rencontres et d'échanges, en particulier les collectivités et leurs élus, acteurs de la mise en place de la politique de prévention à l'échelle de leurs territoires.

La prévention des risques, une politique structurée et de long terme qui articule des actions complémentaires

En matière de risque naturel, la réduction du risque à la source est impossible par définition ou limitée. La politique consiste donc à connaître au mieux les phénomènes naturels, et agir pour réduire, autant que faire se peut, leurs conséquences. Un enjeu est d'agir «en amont» des catastrophes, à un moment où leur effet est difficile à connaître précisément, dans une approche de long terme, en contraste avec le sentiment d'urgence quand une catastrophe s'annonce. Cette politique demande la mobilisation de différents outils, dans une approche stratégique et équilibrée – pas seulement orientée sur la protection contre l'aléa par exemple – elle-même longue à élaborer. On retient traditionnellement une structuration autour de sept axes, qui sont chacun indispensables et doivent être mis en œuvre de manière complémentaire et articulée : connaissance, surveillance, information, maîtrise de l'urbanisme, réduction de la vulnérabilité, gestion de crise, retour d'expérience.

6. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/prevention-des-risques-naturels#e2>

Connaître l'aléa et le risque

La connaissance de l'aléa est le socle indispensable de la prévention. Les connaissances et recherches scientifiques permettent de mieux cerner les causes des phénomènes et les mécanismes mis en jeu. Elles mobilisent :

- la connaissance des événements passés grâce aux recherches historiques et à la constitution de bases de données (climatologique, hydrologique, nivologique) ou d'atlas (par exemple : cartes des zones inondables à partir des données historiques, carte de localisation des phénomènes avalancheux). La capitalisation des données d'événements historiques, en matière d'inondation par exemple, repose sur la Base de données historiques sur les inondations (BDHI)⁷ qui recense et décrit les phénomènes de submersions dommageables d'origine fluviale, marine, ou autres, survenus sur le territoire français (métropole et outre-mer) au cours des siècles passés et jusqu'à aujourd'hui. Elle met à disposition une sélection d'inondations remarquables qui se sont produites sur le territoire et s'enrichit au fil de l'eau. En complément, une base de données de repères de crues a été mise en ligne, à la fois pour être consultée et pour être alimentée par tout un chacun, grand public ou organismes⁸;
- la connaissance des aléas et des enjeux pour évaluer les risques auxquels chaque territoire est exposé. Cette connaissance émane d'études ou recherches menées par des opérateurs de l'État ou par des bureaux d'études. Elle nécessite parfois des modélisations numériques (modèle météorologique, hydrologique ou autre) et se concrétise par des cartes d'extension et d'intensité des phénomènes.

On distingue la recherche amont, qui s'intéresse aux grandes évolutions tendancielles, à une échelle « macro » telle que l'évolution des zones sensibles aux incendies de forêt, l'impact de la hausse des températures sur les risques d'origine glaciaire et périglaciaire, de la connaissance fine de l'aléa et des enjeux à une échelle locale permettant par exemple d'établir un zonage de Plan de prévention des risques naturels (PPRN). Cette dernière est également nécessaire dans une approche opérationnelle d'aménagement du territoire et de la gestion crise, par exemple pour préparer l'évacuation de populations et organiser les secours en cas d'événement météorologique intense.

Une connaissance approfondie des risques est indispensable pour appréhender les conséquences possibles des phénomènes et mettre en place des mesures de prévention appropriées, en tenant compte de la vulnérabilité du site considéré. Les éléments de connaissance doivent régulièrement être mis à jour pour tenir compte des progrès scientifiques d'une part, et des évolutions de l'occupation du territoire d'autre part.

7. Base de données historiques sur les inondations : <http://bdhi.fr>

8. <https://www.reperesdecrues.developpement-durable.gouv.fr/>

Ainsi, il est par exemple nécessaire de mieux comprendre comment vont évoluer, dans le contexte du changement climatique :

- les glaciers – comme le rappelle l'épisode de Tête Rousse⁹ près du mont Blanc ;
- les mouvements de terrains en montagne qui peuvent être modifiés par l'évolution de la température des sols ;
- ou encore les boisements pour faire dès à présent les choix qui limiteront le risque incendie dans les décennies à venir.

À titre d'exemple, dans les Alpes du nord, le risque d'incendie de forêt est potentiellement en augmentation au regard des évolutions probables des conditions météorologiques. Le département de l'Isère, classé à « risque moyen¹⁰ », présente une activité incendie peu importante mais non négligeable. Lors de conditions météorologiques exceptionnelles, des feux très intenses et difficilement contrôlables peuvent se développer, comme cela a été le cas en 2003.

Bien qu'encore mal connue, l'interaction entre plusieurs risques naturels est de nature à aggraver les situations. Sur les secteurs déjà soumis à un aléa mouvements de terrain, les incendies, par la perte du couvert végétal qu'ils occasionnent, peuvent occasionner un sur-aléa, notamment en cas de fortes précipitations. Ils aggravent ainsi les phénomènes d'érosion des sols, de ravinements et coulées de boues, d'éboulements rocheux ou encore de glissements de terrain.

Plusieurs projets, tel que les projets Drias, les futurs du climat et Extremoscope (GICC, MTEX/DRI/SR), ou des plates-formes, telles que Géorisque et Vigicrues, ont d'ores et déjà permis d'accroître la connaissance des risques depuis la publication du premier plan national d'adaptation au changement climatique et sont autant de points d'information pour les décideurs ou le grand public. (ONERC, 2017).

Dans le cadre de l'élaboration du PNACC-2, l'acquisition de nouvelles connaissances et leur dissémination ont fait l'objet d'un groupe de travail spécifique. Il est ainsi prévu le développement par les établissements d'enseignement supérieur et de recherche impliqués dans le projet Extremoscope d'un service d'attribution des événements extrêmes (ex. : pour quantifier l'évolution de la probabilité d'occurrence d'une sécheresse sévère pour un lieu donné) afin de répondre aux questions récurrentes du public, des médias et des responsables politiques, après chaque phénomène de grande ampleur sur ses liens de causalité avec le changement climatique (ex. cyclone tropical, forte pluie, sécheresse intense, vague de chaleur) et avec l'idée d'accroître la sensibilisation de la population aux conséquences du changement climatique en s'appuyant sur l'analyse de situations vécues récentes. L'acquisition de nouvelles connaissances sur les événements extrêmes et la manière de s'en protéger et la diffusion de ces informations sont également déclinés de manière plus sectorielle.

Dans le domaine de la prévention et de la gestion des **feux de forêt** et de broussailles liés au changement climatique, l'État et les établissements publics tels

9. <http://www.georisques.gouv.fr/articles/glacier-de-tete-rousse-comprendre-le-phenomene-des-poches-deau>

10. Circulaire DG FAR/SDFB/C2007-5064.

que l'Office national des forêts (ONF) vont ainsi engager un certain nombre de mesures pour mieux cerner l'augmentation de l'aléa incendie et l'extension des zones propices aux incendies et en informer la population :

- détermination des zones sensibles à l'augmentation de l'aléa incendie de forêts par la modélisation des relations feu-climat, incluant une réflexion sur les interfaces « habitat-forêt » et la déprise agricole ;
- évaluation de l'intensité des incendies, des dommages induits sur les forêts et de la vulnérabilité des bâtis d'interface à l'incendie de forêt ;
- poursuite de la sensibilisation des populations, notamment au respect des obligations légales de débroussaillement (voir encadré 6 de ce chapitre).

Les événements extrêmes sont également pris en compte dans le PNACC-2 de manière indirecte à travers les effets qu'ils ont sur la santé. Dans le domaine de la prévention et de la gestion des **risques sanitaires** liés au changement climatique, il s'agit d'améliorer la connaissance et la sensibilisation aux risques déjà identifiés ou émergents à l'échelle nationale voire régionale tant pour la population générale que pour les travailleurs. Pour ce qui est de la surveillance, une meilleure articulation, entre la production des données et les connaissances de surveillance environnementale climatique et les connaissances épidémiologiques sanitaires, permettra de construire des indicateurs validés et de proposer une offre de services utiles pour l'action, notamment pour le niveau régional (par exemple, en identifiant les facteurs de risques et en documentant les impacts sanitaires actuels et futurs) et des services climatiques pertinents pour la protection de la santé. Par ailleurs, les moyens de surveillance et d'alerte épidémiologiques et sanitaires des populations (travailleurs inclus) seront consolidés. Le service sanitaire des étudiants en médecine mis en place à la rentrée 2018 permettra de diffuser et mettre en œuvre des messages de prévention auprès de différents publics (public scolaire, structure d'accueil de personnes âgées, services sociaux...).

Pour réaliser ces missions d'amélioration continue de la connaissance, le ministère chargé de l'environnement s'appuie sur ses opérateurs publics dans le cadre de conventions. Associées à des financements sur crédits budgétaires, ces conventions chaque année, en ordre de grandeur, représentent par exemple :

- 3,5 M€ pour Météo-France, qui recouvrent des actions relatives au développement de l'observation – extension du réseau de mesure, radars météorologiques – et de la prévision – vigilance météorologique ;
- 1,7 M€ pour l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA), sur des actions de recherche et d'expertise, avec notamment un travail sur la prise en compte des avalanches de neige humide dans les stratégies de prévention en montagne. Ces avalanches étant amenées à se répéter dans le contexte du changement climatique ;
- 1,1 M€ pour le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), sur des actions de recherche et d'expertise, qui recouvrent notamment un appui sur les mouvements de terrain et les enjeux relatifs à l'évolution du trait de côte.

Si ces connaissances sont indispensables à l'élaboration, au pilotage, à la mise à jour de la politique de prévention des risques naturels, il est tout aussi important qu'elles soient portées à la connaissance du public. Cela permet de limiter

les formes de fatalisme et de superstition par rapport aux risques naturels. C'est le rôle, en particulier, du portail Géorisques (fig. D2), mis en place par le ministère en charge de l'environnement, qui vise à ce que chacun puisse disposer d'une information sur les risques à proximité de « sa maison ». En s'appuyant sur les différentes données disponibles au sein du ministère, il présente, sous forme de cartes et de listes, les différents risques, pour répondre à la question : « Quels sont les risques auxquels je suis exposé ? ». Géorisques a permis d'amplifier, au sein des services du ministère chargé de l'environnement et de ses opérateurs, le mouvement d'harmonisation, d'agrégation au sein de bases nationales et de publication des données sur les risques, notamment des cartes de plans de prévention des risques (en lien avec le Géoportail de l'urbanisme¹¹). L'objectif prioritaire de cette plateforme est l'amélioration continue de la variété et de la qualité des données, de l'ergonomie et des possibilités de consultation et de réutilisation de l'information.

Cette connaissance peut utilement être complétée par des indicateurs et analyses qui permettent une mise en perspective du risque. L'Observatoire national des risques naturels (ONRN) apporte ce type d'informations, ainsi que les observatoires régionaux des risques naturels majeurs.



Figure D2 – portail Géorisques : <http://www.georisques.gouv.fr/>

Source : BRGM.

11. <https://www.geoportail-urbanisme.gouv.fr/>

Encadré 2

L'observatoire national des risques naturels

L'Observatoire national des risques naturels (ONRN) a été créé en mai 2012, suite aux conséquences catastrophiques de la tempête Xynthia, par la signature d'une convention de partenariat entre l'État représenté par le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES), la Caisse centrale de réassurance (CCR) et la Mission des sociétés d'assurances pour la connaissance et la prévention des risques naturels (MRN, regroupement technique de la Fédération française de l'assurance, ayant statut d'association). Cette convention a été reconduite pour des périodes de trois ans en 2014 et en 2017. Le conseil de gestion de l'ONRN est dorénavant présidé par un représentant du Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD).

Les principaux objectifs de l'ONRN sont :

- améliorer et capitaliser la connaissance sur les aléas et les enjeux ;
- contribuer au pilotage et à la gouvernance de la prévention des risques ;
- servir l'analyse économique de la prévention et de la gestion de crise ;
- contribuer à l'amélioration de la culture du risque ;
- promouvoir les observatoires territoriaux.

L'ONRN a notamment élaboré :

- cinquante-trois indicateurs couvrant cinq aléas (inondation, sécheresse, mouvement de terrain, séisme, tempête-grêle-neige), visualisables via une cartographie interactive et téléchargeables sur le portail de l'ONRN (ex. : nombre de maisons individuelles exposées à l'aléa retrait-gonflement des argiles fort ou moyen en 2014, nombre de reconnaissances d'états de catastrophes naturelles « mouvements de terrain » de 1982 à 2017, fréquence des sinistres tempête-grêle-neige des particuliers par département cumulée sur la période 1987 à 2015, etc.);
- une base de données sur les événements naturels dommageables (en cours de constitution).

Il a mis en place un réseau des observatoires initié à l'occasion des Assises nationales des risques naturels en 2016.

Source : <http://www.onrn.fr/>

Surveiller et prévoir

L'objectif de la surveillance est d'anticiper un phénomène naturel et de pouvoir avertir les populations et les acteurs à temps pour qu'ils se préparent et adaptent leurs comportements pendant la crise. Elle nécessite l'utilisation de dispositifs d'analyse préparés en amont et de mesures intégrées dans un système d'alerte des autorités ou des populations. La surveillance météorologique est un élément essentiel du dispositif de prévision des phénomènes climatiques potentiellement dangereux tels que les orages, tempêtes, vagues de chaleur et de leurs conséquences comme les avalanches ou les incendies de forêts. Par exemple, la surveillance des débits des cours d'eau, associée à la prévision des précipitations, permet de prévoir la survenance de crues sur 22 000 km des cours d'eau français et d'en estimer l'ampleur.

L'amélioration de l'observation et de la prévision des phénomènes est un enjeu majeur d'adaptation au changement climatique. Le programme d'investissements en radar de Météo-France a ainsi été confirmé, avec le déploiement de cinq radars à l'horizon 2021, pour un montant de 11 millions d'euros.

La surveillance permet d'avertir les autorités ou les populations d'un danger par des moyens de diffusion efficaces et adaptés à chaque type de phénomène : Internet, radio et TV, haut-parleurs, messages téléphoniques, etc.

Les sites www.vigilance.meteofrance.com et www.vigicrues.gouv.fr (voir encadré 3) sont les supports de la vigilance nationale en matière de risque météorologique et hydrologique.

Certains phénomènes à dynamique rapide, comme les orages, les tempêtes ou les cyclones tropicaux, restent plus difficiles à prévoir, à la fois en termes de localisation, de chronologie et d'intensité. Leur dangerosité incite à les étudier pour progresser dans notre capacité d'anticipation et à mobiliser des moyens techniques de plus en plus performants pour les prévoir. Les projections proposées par les climatologues pour la fin du siècle laissent supposer des évolutions sensibles de ces phénomènes : augmentation du nombre de cyclones dans les catégories les plus puissantes, intensification des phénomènes convectifs du type « cévenol » par exemple. Il est donc d'autant plus important de nous préparer à mieux les annoncer.

Encadré 3

Le réseau Vigicrues

Le réseau Vigicrues, du ministère chargé de l'environnement, a pour mission de suivre l'évolution des principaux cours d'eau français et de produire la « vigilance crues » destinée aux autorités et au grand public. Il est constitué d'un service central situé à Toulouse, le Service central d'hydro-météorologie et d'appui à la prévision des inondations (Schapi), d'unités d'hydrométrie et de services de prévision des crues dans les Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (Dreal). Au total, ce sont près de 500 agents présents sur le terrain toute l'année qui permettent la préparation de la prévision et de la vigilance, et la mobilisation lors des épisodes de crues (Schapi). Pendant le premier semestre 2018, le réseau a été mobilisé de manière soutenue, notamment en janvier-février avec les crues du bassin de la Seine, puis en mai-juin lors d'un long épisode orageux sur la Normandie, la Bretagne et la Nouvelle-Aquitaine.

Au sein d'un réseau de 3 000 stations hydrométriques, 1 700 retransmettent leurs observations en temps réel. Elles sont utilisées par les prévisionnistes dans les services de prévision des crues et au Schapi pour définir un niveau de risque de crue sur les 24 heures à venir et préparer des bulletins des prévisions.

La vigilance « crues » permet de prévenir les autorités et le public qu'il existe un risque de crues sur le réseau réglementaire, plus ou moins important selon la couleur de vigilance (vert/jaune/orange/rouge). Cela permet aux autorités locales, notamment les préfets et les maires, ainsi qu'au public, de se mettre en situation de réagir de manière appropriée, selon l'importance du danger, et de gérer la situation dans les meilleures conditions. Cette vigilance est relayée par le dispositif de vigilance météorologique mis en place par Météo-France.

La vigilance « crues » a plusieurs particularités.

Elle présente le niveau de vigilance sur des tronçons de cours d'eau sur les 22 000 km du réseau hydrographique surveillés par l'État, aux abords desquels se situent plus de 75 % de la population qui vit ou travaille en zone inondable.

Elle est aussi accompagnée d'informations complémentaires :

- les niveaux d'eau et les débits des cours d'eau observés en temps réel sur près de 1 700 points de mesure télétransmis, ainsi que leurs variations au cours des derniers jours et des dernières heures ;
- sur une sélection de points, des hauteurs d'eau prévues complètent les observations ; le nombre de ces points est en augmentation régulière.



Figure D3 – Carte de France Vigicrues des 22 000 km du réseau hydrographique surveillé par l'État

Source : Météo-France.

Le réseau Vigicrues en métropole a fini de se constituer en 2006, lorsqu'il a publié sa première carte de vigilance, et il continue aujourd'hui à s'améliorer et se moderniser (qualité des mesures et des transmissions, stations hydrométriques non intrusives, généralisation de la prévision au droit des stations hydrométriques dans les zones de fort enjeu, etc.).

Il est aussi présent dans les départements d'outre-mer : ce sont des cellules de veille hydrologique qui ont été mises en place ou qui sont en voie de l'être. Compte tenu de la nature complexe et intense des phénomènes dans ces territoires, leurs missions se focalisent principalement sur le suivi des phénomènes et le développement des connaissances.

En dehors du réseau surveillé Vigicrues, un autre service a été développé pour avertir les maires, les services communaux et les préfectures, en cas de phénomènes localisés d'inondations par ruissellement ou de crues rapides de petits cours d'eau (phénomènes qui pourraient s'accroître avec le changement climatique) : il s'agit de Vigicrues Flash. Ce service est proposé depuis 2017 par le ministère chargé de l'environnement et permet aux autorités locales qui en font la demande d'être averties d'un risque de crues rapides dans les prochaines heures sur une sélection de cours d'eau non couverts par la vigilance « crues » décrite plus haut.

10 000 communes environ sont éligibles à ce service mais seulement 10 % de ces communes y sont aujourd’hui abonnées.

Vigicrues Flash est le complément d’un autre service plus ancien proposé par Météo-France : le service APIC (Avertissement pluies intenses à l’échelle des communes). Sur le même principe, il permet d’être averti lorsque les précipitations en cours ou récentes revêtent un caractère exceptionnel sur une commune ou les communes environnantes.

Ces deux services, réservés aux maires et aux préfets, sont gratuits et se traduisent par des envois de SMS, courriels et messages audios, complétés par une cartographie des communes et tronçons de cours d’eau concernés par les avertissements.

L’hydrométrie est aussi la base de la connaissance et du suivi des étiages, répondant ainsi à l’un des autres enjeux du changement climatique : la sécheresse. De cette gestion des basses eaux dépend notre capacité à produire de l’eau potable, à réguler la consommation d’eau pour l’agriculture, à refroidir certaines centrales produisant de l’énergie, et les mesures de restriction qui peuvent s’avérer indispensables pour permettre un juste équilibre entre les différents utilisateurs de la ressource.

Diffuser l’information préventive et participer à l’éducation des populations

La gravité du risque est fonction de la vulnérabilité et des enjeux : un des moyens essentiels de la prévention est l’adoption par les citoyens et les acteurs économiques de comportements adaptés aux menaces. Dans cette optique, a été instauré le droit des citoyens à une information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis et sur les mesures de sauvegarde qui les concernent (article L. 125-2 du Code de l’environnement). Cette information réglementaire mérite souvent d’être complétée par des outils pédagogiques ou des campagnes de sensibilisation, sur un sujet complexe, qui reste moins bien connu que la prévention de la production de déchets et leur recyclage, ou l’attention portée à la préservation de la biodiversité.

L’information préventive réglementaire repose sur le **Dossier départemental des risques majeurs** (DDRM) établi par le préfet, qui comprend, pour les différentes communes concernées, la description des risques et leurs conséquences pour les personnes, les biens et l’environnement et l’exposé des mesures de sauvegarde prévues pour en limiter les effets. Sur la base des informations contenues dans le DDRM, le maire établit le **Dossier d’information communal sur les risques majeurs** (DICRIM), consultable par le public à la mairie. Dans les communes exposées à un ou plusieurs risques, l’affichage des risques et des consignes est

obligatoire dans les lieux et établissements définis par le maire et systématiquement dans les campings.

La mise en œuvre de l'information préventive est éligible au fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM), dans la limite de 20 millions d'euros par an (chiffre qui comprend également la réalisation des PPRN). En 2017, l'élaboration des DDRM du Puy-de-Dôme, du Territoire de Belfort, de la Corse du Sud, et de neuf autres départements ont par exemple été financés pour un montant de 195 000 euros.

Depuis 2006, tout **acheteur ou locataire de biens immobiliers** (bâti ou non bâti) doit être informé lorsque le bien est situé dans une zone de sismicité ou dans le périmètre d'un plan de prévention des risques naturels ou technologiques et donc s'il est dans une zone inondable, soumise aux feux de forêt... Le vendeur ou le bailleur doit indiquer à l'acquéreur ou au locataire, sur un document annexé au contrat, la situation de ce bien vis-à-vis du ou des risques naturels ou technologiques auxquels la commune est exposée. Cette information obligatoire est obtenue à partir des documents disponibles en mairie ou en préfecture ou à l'aide du site Internet Géorisques. Elle contient les servitudes qui s'imposent au bien considéré et précise les indemnisations dont le bien a été l'objet au titre d'une déclaration de l'état de catastrophe naturelle.

Le retour d'expérience, depuis 2006, sur cette mesure indique que l'information sur les risques reste souvent un paramètre parmi d'autres (surface, emplacement) lors de l'achat ou de la location d'un bien, et n'influe pas sur la valeur finale du bien. La question peut être posée de donner cette information plus en amont dans le processus de choix du logement, à la manière du diagnostic de performance énergétique.

La réduction des accidents et dommages passe aussi par l'**éducation aux risques et la sensibilisation des populations**. Depuis 1993, les ministères chargés de l'environnement et de l'éducation s'attachent à promouvoir l'éducation à la prévention des risques majeurs. Depuis 2004, cette approche est officiellement inscrite dans le Code de l'éducation et concerne les programmes scolaires des enseignements primaire et secondaire : tout élève de collège et de lycée bénéficie, dans le cadre de sa scolarité obligatoire, d'une sensibilisation à la prévention des risques et aux missions des services de secours ainsi que d'un apprentissage des gestes élémentaires de premier secours. Les ministères en charge de l'environnement et de la santé, l'Observatoire national sur les risques naturels (ONRN), l'Institut français pour les formateurs risques naturels majeurs et protection de l'environnement (IFFO-RME) et les associations renforceront l'**information préventive, l'éducation et la formation** par l'implication des citoyens, des entreprises et des élus. Le réseau associatif est en effet un vecteur de diffusion à privilégier dans les établissements scolaires, notamment via l'accompagnement à la réalisation des plans particuliers de mise en sûreté¹².

12. Plans de secours à l'échelle des établissements d'enseignement.

Encadré 4

Plan national canicule

Auteur : Karine Laaidi,
Santé publique France.

Dès 2004, le ministère chargé de la santé a mis en place un Plan national canicule associé à un Système d'alerte canicule et santé (Sacs) mis en œuvre conjointement par Météo-France et Santé publique France. Ce plan, décliné au niveau départemental, fonctionne selon quatre niveaux d'alerte basés sur la vigilance météorologique :

- vert (veille saisonnière) du 1^{er} juin au 15 septembre ;
- jaune (avertissement chaleur) lorsque les températures sont proches des seuils d'alerte ou ponctuellement très intenses mais sur seulement un ou deux jours ;
- orange (alerte canicule) lorsque les seuils d'alerte sont atteints ou dépassés avec éventuellement des facteurs aggravants (pollution, humidité de l'air...) ;
- rouge (mobilisation maximale) lorsque la chaleur est exceptionnelle en durée, intensité et extension géographique, avec d'éventuels effets non sanitaires (sécheresse, délestages électriques...).

Ces niveaux de plan sont associés à des mesures de gestion et de prévention, avec un focus particulier vers les populations les plus vulnérables pour lesquelles l'acclimatation est plus difficile (personnes âgées, en mauvais état de santé, vivant en habitat indigne, nourrissons, personnes peu habituées à la chaleur, travailleurs exposés à la chaleur, sportifs occasionnels).

En vigilance jaune, la prévention relève avant tout de la communication.



Figure D4 – Plaquette de sensibilisation

Source : ministère des Solidarités et de la Santé.

En orange (niveau déclenché dans 66 départements en 2018), voire en rouge (niveau qui n'a encore jamais été déclenché mais aurait correspondu à la canicule d'août 2003), les mesures sont variées et peuvent être mises en œuvre selon la situation : communication préventive, ouverture d'un numéro vert d'information, assistance aux personnes vulnérables inscrites sur les registres communaux, déclenchement des plans bleus dans les maisons de retraite ou des plans blancs dans les hôpitaux, etc.

Sur la base d'études épidémiologiques, Santé publique France a produit des supports de prévention rappelant les risques, les signaux d'alerte pour la santé et les conseils de prévention.

Les villes expérimentent également des mesures d'adaptation comme l'arrosage des chaussées, l'ouverture des parcs la nuit, la cartographie des lieux frais accessibles au public ou des applications pour téléphone mobile permettant de repérer les lieux frais près de chez soi et les parcours les moins chauds pour s'y rendre.

Malgré les mesures d'adaptation mises en place, on constate toujours un impact des canicules, que ce soit sur les recours aux soins d'urgences ou sur la mortalité : la canicule de 2006 a ainsi occasionné une surmortalité d'un peu plus de 1000 décès, celle de 2015 plus de 1700, celle de 2017, 345 et environ 1500 pour 2018. Ces chiffres, moindres que ceux de 2003, peuvent s'expliquer en partie par l'efficacité des mesures de prévention, mais aussi par le fait que ces canicules ont été moins sévères que celle de 2003. La surmortalité pourrait donc être bien plus élevée dans l'avenir avec l'augmentation de la fréquence et de la sévérité des canicules.

Ceci est d'autant plus vrai que, selon une enquête menée en 2015 auprès de la population française, si les gestes de prévention semblent bien connus, au premier rang desquels boire de l'eau et maintenir sa maison au frais, le coup de chaleur n'est pas un risque clairement identifié, et la perception de ses propres risques est faible y compris chez les personnes de plus de 65 ans (seulement 3 % de la population interrogée pense avoir un risque important lors d'une canicule, et 4 % des plus âgés). De même, parmi les mesures adoptées par les personnes âgées en cas de canicule, si le recours à la solidarité de proximité est fréquent, le recours aux services municipaux pour se signaler ou demander de l'aide reste une pratique marginale (seules 4 % des personnes âgées déclarent s'être inscrites sur les registres de leur ville). A cela s'ajoute pour les acteurs de terrain (professionnels de santé ou du secteur social en particulier) de nombreuses difficultés de mise en œuvre de la prévention, souvent liées au manque de personnel ou de moyens, parfois à une certaine méconnaissance des risques ou des gestes de prévention, ou encore à une réticence des personnes vulnérables à accepter les comportements adéquats pour se protéger de la chaleur, soit qu'elles ne se considèrent pas à risque, soit qu'elles ne ressentent pas la soif ou la chaleur.

Encadré 5

Plan froid

Auteur : Karine Laaidi,
Santé publique France.

En ce qui concerne le froid, il n'y a pas de système d'alerte, la prévention de court terme n'étant pas la plus importante pour prévenir les risques. Le court terme est géré uniquement par la vigilance grand froid de Météo-France, et par la vigilance neige-verglas qui peut lui être concomitante. Des conseils de prévention y sont associés, élaborés en lien avec les autorités sanitaires (bien se couvrir en particulier les extrémités, manger et boire chaud et non alcoolisé, préparer ses trajets en voiture, éviter les efforts physiques intenses surtout pour les personnes cardiaques, chauffer convenablement sa maison en faisant attention au risque lié au monoxyde de carbone). Des places d'hébergement sont ouvertes en hiver pour les personnes

sans abri, mais leur gestion dépend des besoins d'accueil, et non plus des températures extérieures depuis la loi Duflot. Les maraudes du Samu social peuvent être intensifiées lors des vagues de froid.

La prévention passe donc surtout, pour la population générale, par des mesures de fond qui sont avant tout d'ordre social : droit au logement opposable, trêve hivernale interdisant l'expulsion des locataires du 1^{er} novembre au 31 mars et interdisant les coupures de gaz et d'électricité, aides financières pour le chauffage, lutte contre l'habitat indigne.

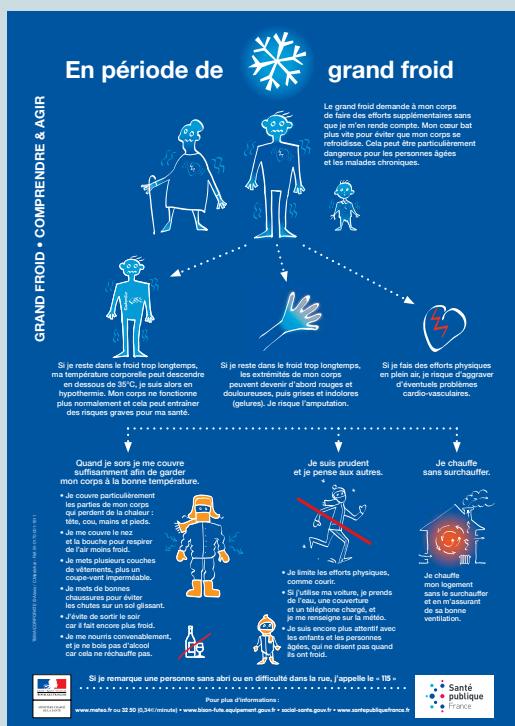


Figure D5 – Plaquette de sensibilisation

Source : ministère chargé de la Santé.

Afin d'améliorer la culture du risque pour le plus grand nombre, le ministère chargé de l'environnement met en place des campagnes de communication sur les aléas les plus dangereux pour la vie humaine et qui pourraient connaître une recrudescence avec le changement climatique comme les pluies intenses et les feux de forêt.

La campagne de prévention des pluies dites « cévenoles » (voir Annexe 3) a été mise en place après les événements dramatiques de 2015 et reconduite trois fois de 2016 à 2018. Elle met l'accent sur les comportements qui sauvent, face à un risque croissant, et pour lequel les prévisions précises resteront difficiles et les mesures structurelles de réduction du risque limitées (fig. D6).



Figure D6 – Plaquette de sensibilisation

Source : ministère de l'Intérieur et ministère en charge de l'environnement.

Une autre campagne de prévention, mise en place en 2018, sensibilise au risque « incendie », à nouveau dans les départements du Sud de la France (encadré 6).

Encadré 6

Campagne nationale 2018 de prévention des incendies de forêts

En 2017, plus de 3 000 feux sont survenus dans le Sud de la France. La France métropolitaine, particulièrement le Sud, est un territoire propice aux incendies de forêts. Les conditions estivales avec une sécheresse des sols marquée et des vents forts sont favorables à la survenue d'événements d'incendies, dont les conséquences peuvent être destructrices et dramatiques sur le plan humain.

Les effets du changement climatique sur les incendies de forêts sont également établis : les zones exposées aux incendies devraient s'étendre en France métropolitaine vers le Nord-Ouest, en particulier dans les Pays-de-la-Loire, le Centre-Val-de-Loire et la Bretagne. Dans les zones déjà exposées, les incendies pourraient s'étendre à la moyenne montagne. Il est probable que la saison des incendies de forêts dans l'année s'allongera, passant d'environ trois mois actuellement à six mois dans un avenir proche. Les incendies devraient être plus intenses et plus rapides compte tenu des sécheresses accrues. Cela devrait conduire à une augmentation des grands feux, et donc à une plus grande répétition du passage des

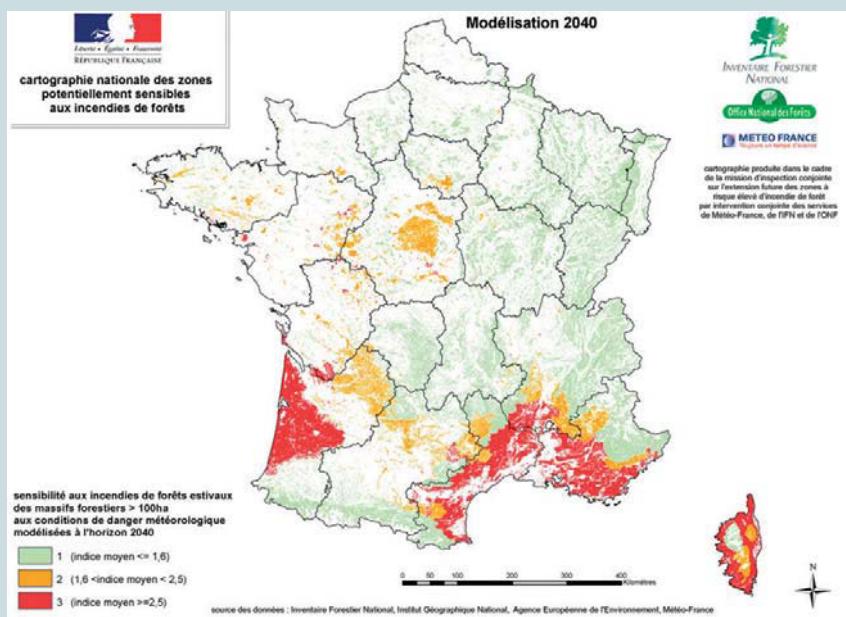


Figure D7 – Cartographie national des zones potentiellement sensibles aux incendies de forêts – modélisation 2040

Source : Météo-France.

incendies en un même point sur de courtes périodes (tous les dix à vingt ans), engendant alors de fortes régressions des peuplements forestiers dans les régions les plus exposées.

L'augmentation des moyens de surveillance et de secours et des moyens de protection des sapeurs-pompiers dans les zones actuellement concernées devra donc également s'accompagner de l'accroissement des zones d'intervention potentielles vers le nord et du renforcement de la mutualisation des moyens de surveillance et de secours au niveau européen pour mieux gérer les crises.

90 % des feux sont d'origine anthropique et 80 % des départs de feux se déclenchent à moins de 50 m des habitations. Au bout du compte, plus d'un incendie sur deux résulte d'une imprudence.

La prévention du risque incendie de forêt passe donc par des comportements responsables. Des acteurs locaux très impliqués mènent **des actions de prévention récurrentes**, mais certains comportements clés méritent d'être rappelés.

En juillet 2018, le ministère chargé de l'environnement a ainsi lancé une campagne nationale de sensibilisation et de prévention du risque incendie, en lien avec le ministère de l'Intérieur et le ministère en charge de l'Agriculture, également très impliqués dans la prévention et la lutte contre les incendies, ciblée sur les trente-deux départements du Sud les plus exposés (Aquitaine, Occitanie, Paca, Corse). L'objectif de la campagne est de diffuser les bons comportements face au risque incendie de forêt pour :

- veiller à ne pas en être la cause accidentellement dans les zones d'interface forêt-habitat i. e. ne pas déclencher;
- agir pour limiter la propagation;
- adopter les réflexes de sauvegarde.

Les actions d'information préventive et d'amélioration de la culture du risque, chacune dans leur domaine d'efficacité, sont prioritaires en ce qu'elles orientent les choix permettant d'adopter les comportements qui sauvent. Elles sont aussi un élément indispensable d'acceptation de politiques qui peuvent paraître, par ailleurs, contraignantes, sans bénéfice immédiat ou clair.

Prendre en compte les risques dans l'aménagement du territoire

La prévention des risques naturels s'inscrit dans la durée quand les choix d'aménagement du territoire intègrent la prise compte de l'aléa pour éviter d'implanter des enjeux (population, bâti...) dans des zones exposées, ou réduire la vulnérabilité des bâtiments existants. Le croisement de l'aménagement et du risque naturel

s'appuie également sur la connaissance de l'aléa, elle requiert une expertise et la mobilisation d'opérateurs de l'État, par exemple le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema).

Dans le domaine de la prévention et de la gestion des feux de forêt et de broussailles liés au changement climatique, la gestion forestière devra être progressivement adaptée à l'accroissement prévisible des risques d'incendies en termes de fréquence d'occurrences et de surfaces concernées tant en métropole qu'en outre-mer en mobilisant l'ensemble des acteurs de la forêt¹³ (Plan national de la forêt et du bois 2016-2026). Un certain nombre de mesures sont envisagées pour adapter la France à l'augmentation de l'aléa incendie et à l'extension des zones propices aux incendies, notamment la poursuite de l'élaboration de stratégies régionales et territoriales de prévention du risque d'incendies de forêt, intégrant ce risque dans l'aménagement du territoire afin de mettre en place les outils de prévention adaptés, en articulation avec les documents d'urbanisme portés par les élus locaux.

Le développement de stratégies foncières équilibrées de moyen et long termes tenant compte de l'ensemble des enjeux socio-économiques, environnementaux et culturels aux moyens de la limitation de la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers pour atteindre l'objectif de zéro artificialisation nette du Plan biodiversité, de l'infiltration des précipitations avec l'ambition de désimperméabiliser à terme et des techniques alternatives, notamment la restauration écologique, permettra de réduire les phénomènes de ruissellement, d'érosion des sols, et les risques d'inondation.

Le **Plan de prévention des risques naturels** (PPRN) constitue l'outil central d'intervention de l'État pour maîtriser l'urbanisme dans les zones à risques et réduire la vulnérabilité du bâti existant. Si, en 1982, la loi relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles (loi n° 82-600 du 13 juillet 1982) a institué le plan d'exposition aux risques, c'est la loi Barnier de 1995 qui instaure les PPRN, se substituant à tout autre plan ou dispositif approuvé par les préfets.

Le PPRN permet d'interdire les constructions dans les zones d'aléas les plus forts, et de les encadrer par des prescriptions dans des zones d'aléas moindres. S'il peut imposer des prescriptions aux constructions existantes, c'est un outil particulièrement efficace dans les zones de forte pression foncière. L'élaboration du PPRN permet de partager, sous l'autorité du préfet de département, en associant les collectivités locales dans une démarche de concertation, une connaissance documentée de l'aléa, une diffusion de cette information et l'adaptation de l'urbanisme au travers d'une réglementation.

13. <http://agriculture.gouv.fr/le-programme-national-de-la-foret-et-du-bois-2016-2026>

Encadré 7

Les plans de prévention des risques naturels (PPRN) : procédure d'élaboration

La procédure d'élaboration des PPRN est cadrée dans le Code de l'environnement par les articles L. 562-1 à L. 562-9.

Le PPRN est composé de trois documents :

- un rapport de présentation qui expose les études entreprises, les résultats et les justifications des délimitations des zones et réglementations inscrites dans le règlement et celles rendues obligatoires ;
- un plan de zonage, issu du croisement des aléas (fréquence et intensité des phénomènes) et des enjeux identifiant des zones inconstructibles et des zones constructibles sous réserve d'aménagements particuliers ;
- un règlement décrivant les contraintes constructives et d'urbanisme à respecter dans chaque zone. Le PPRN déterminera, par exemple, la hauteur minimale du premier plancher d'une habitation nouvelle en zone inondable ou rendra obligatoire le renforcement des façades amont en cas de chutes de blocs ou d'avalanches.

Approuvé par le préfet, le PPRN est annexé, après enquête publique et approbation, au Plan local d'urbanisme (PLU) en tant que servitude d'utilité publique. Son élaboration doit se faire dans les trois ans à compter de la prescription du PPRN par le préfet, prorogeable une seule fois pour une période de dix-huit mois.

Dans la pratique, la réalisation des PPRN dépend aussi de l'expérience des territoires (la prévention des risques est plus facilement portée par des territoires ayant connu une catastrophe), du positionnement des élus et riverains sur la prise en compte du risque et des volontés politiques.

La concertation entre l'État, les collectivités locales et les parties prenantes du territoire est un élément clé dans l'élaboration des PPRN. À chaque étape (cartographie de l'aléa, plan de zonage, règlement) les collectivités sont associées. En outre, les conseils municipaux des communes concernées doivent être obligatoirement consultés avant le lancement de l'enquête publique.

Des guides méthodologiques ont été édités par le ministère chargé de l'environnement¹⁴. Un projet de décret visant à mettre en place un encadrement à l'échelle nationale (dit « décret PPR ») pour les Plans de prévention des risques (PPR) relatifs aux aléas débordement de cours d'eau et submersion marine est en cours de préparation. Ce projet de décret se place dans la continuité des doctrines édictées précédemment dans les circulaires et guides nationaux, mais prend également en compte les besoins

14. <http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/ACCIDR/accueil-risques-majeurs.aspx>

d'évolution remontés du « terrain », qu'il s'agisse des services déconcentrés de l'État ou des collectivités, à la lumière du retour d'expérience dont on bénéficie sur ces PPR.

Il reprend donc les grands fondamentaux de la politique de prévention des risques (ne pas augmenter les risques pour les vies humaines, préserver les champs d'expansion des crues, limiter l'augmentation des enjeux exposés aux risques, etc.), mais en ayant une approche plus efficiente et prenant mieux en compte la logique de projet de territoire, dans une approche globale, intégrant l'existant et le neuf (et non une approche bâtiment par bâtiment). Notamment le projet de décret favorise un renouvellement urbain permettant une baisse de la vulnérabilité.

Aujourd'hui, plus de 11 000 communes sont dotées d'un PPRN approuvé, ce qui représente une population d'environ 45 millions habitants. 70 % des PPRN concernent le risque inondation.

La croissance du nombre de PPRN approuvés traduit une mobilisation remarquable des préfets et des services de l'État, qui permet une augmentation considérable de la couverture géographique du dispositif et la progression de la diversité des aléas traités, avec l'élaboration plus récente des PPR littoraux (PPRL) traitant de submersion marine, qui intègrent les effets du changement climatique.

S'il reste des PPRN à prescrire ou à approuver sur certains territoires présentant des risques importants, l'essentiel des travaux à mener concerne à présent la révision de PPRN. Cela ne se justifie que si la connaissance de l'aléa a évolué, notamment suite au retour d'expérience après une catastrophe.

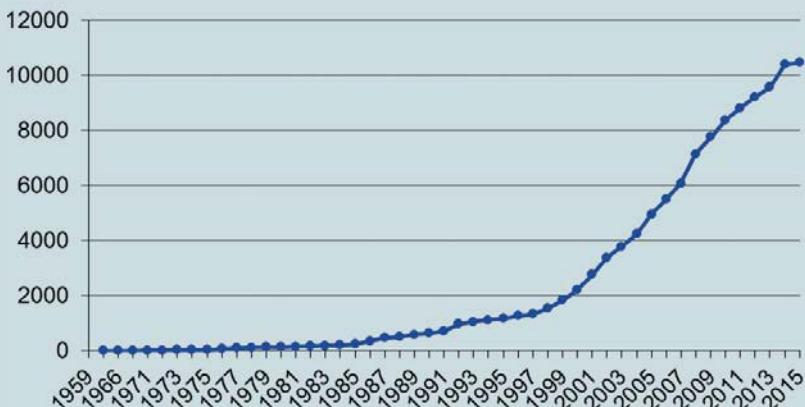


Figure D8 – Évolution du nombre de communes ayant un ou plusieurs PPRN prescrit ou approuvé, entre 1959 et 2015

Source : ministère de la Transition écologique et solidaire.

L'ensemble du territoire n'a pas vocation à être couvert par des PPRN. L'élaboration de PPRN doit se faire sur les territoires présentant un risque élevé. C'est sur les territoires dotés de PPRN que les collectivités locales et les particuliers ont la possibilité de mobiliser le Fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM) pour améliorer la résilience du territoire. Ce principe constitue la base d'une priorisation de la prévention des risques naturels, en y permettant le déploiement des moyens financiers d'accompagnement, dès lors que les collectivités ou les particuliers en font la demande. Si cette priorisation a été faite à l'échelle départementale, par les préfets, dans la période de déploiement la plus intense (1990-2015), la finalisation de la réalisation des PPRN, le choix des nécessaires révisions, l'articulation avec d'autres outils de prise en compte du risque dans l'aménagement constituent dorénavant une priorité des services du ministère chargé de l'environnement.

En effet, en dehors des zones identifiées comme les plus à risque, d'autres outils sont mobilisables pour prendre en compte les risques naturels dans l'aménagement. Certains phénomènes, comme le recul du trait de côte, ont vocation à être traités par les outils d'aménagement des collectivités locales plutôt que par un PPRN.

Le Plan local d'urbanisme (PLU), compétence intercommunale désormais (PLUi), peut ainsi définir les zones à risques et les règles spécifiques à respecter. Le Code de l'urbanisme dans son article L. 101-2 pose d'ailleurs la prévention des risques naturels et technologiques dans ses objectifs. L'article R. 151-31 du même code prévoit la possibilité d'interdire des constructions dans certaines zones du PLU, eu égard à l'exposition de ces zones aux risques naturels. Le Schéma de cohérence territoriale (SCoT), document réglementaire de planification à l'échelle des groupements de communes qui fixe des perspectives d'aménagement du territoire à horizon de quinze à vingt ans, est également un outil pertinent pour prendre en compte la prévention des risques naturels.

En outre, lorsqu'il a connaissance d'un risque sur son territoire, le préfet est tenu d'en informer les maires et les administrés à travers un « porter à connaissance ». Il s'agit d'un document d'information qui comporte un descriptif et une cartographie de chaque risque, ainsi que les consignes de sécurité à adopter en cas de survenance d'événements.

Encadré 8

Les plans de prévention des risques littoraux (PPRL)

Le littoral constitue une zone particulièrement sensible aux risques naturels, de par l'intensité des phénomènes qui peuvent s'y produire et la concentration des populations sur des petites surfaces (ONERC, 2015). Territoire où convergent des dynamiques économiques, sociales et naturelles, le littoral est une zone attractive. En 2010, près de 8 millions de personnes y habitaient, soit une densité 2,5 fois supérieure au reste de la France (outre-mer inclus). À cela s'ajoute la capacité d'accueil touristique importante de ces zones (résidences secondaires, campings et hôtels) estimée à plus de 7 millions de lits. Selon les perspectives de l'Insee, ces chiffres devraient encore augmenter dans les années à venir.

Les côtes françaises sont notamment exposées au risque de submersion marine¹⁵ et connaissent également des évolutions du trait de côte. 1,4 million de Français vivent en zone potentiellement inondable du fait des submersions marines, et ce risque pourrait s'amplifier avec la hausse du niveau des mers due au réchauffement climatique.

Suite à la tempête Xynthia de 2010, l'une des actions identifiées comme prioritaires a été de généraliser **les plans de prévention des risques pour l'aléa submersion marine** (aussi appelés « PPR littoraux » ou « PPRL ») sur le littoral français. Une liste de 303 communes prioritaires a été établie, afin de concentrer les efforts sur les secteurs les plus sensibles à cet aléa. À ce jour, 162 communes de cette liste sont couvertes par un PPR littoral approuvé.

La première phase de l'élaboration du PPRL consiste à cartographier les aléas auxquels le territoire est exposé. Le changement climatique est notamment pris en compte au travers d'une première cartographie intégrant l'élévation du niveau de la mer attendue à courte échéance (estimée à + 20 cm par rapport au niveau actuel) et d'une autre cartographie à cent ans (hausse du niveau des mers estimée à + 60 cm). La cartographie des enjeux permet par ailleurs de comprendre l'organisation du territoire (pôles structurants, zones en développement, espaces naturels, etc.). C'est sur la base du croisement de ces éléments cartographiques que s'engage le processus de concertation entre les acteurs du territoire, en vue d'aboutir à la définition d'une stratégie partagée d'aménagement du territoire intégrant le risque, et *in fine* la délimitation des zones sur lesquelles sera appliqué le règlement du PPRL (appelée zonage réglementaire).

15. Voir définition en chapitre A.

À titre d'exemple, sur la commune de Fouesnant dans le Finistère, le PPR littoral a été approuvé le 12 juillet 2016. Les deux cartes d'aléas de la figure D9 (aléa de référence en haut à gauche et aléa à échéance cent ans à droite) traduisent l'emprise et les effets potentiels d'une submersion marine sur le territoire. Le recensement des enjeux (carte en bas à gauche) permet quant à lui d'identifier les zones urbaines (en violet et bleu) ou naturelles (en vert), ou les établissements sensibles, exposés aux aléas précédemment définis. Le zonage réglementaire délimite ensuite les secteurs où l'inconstructibilité est la règle (zones rouges) et d'autres secteurs où les constructions sont possibles moyennant le respect de certaines prescriptions (zones bleues).

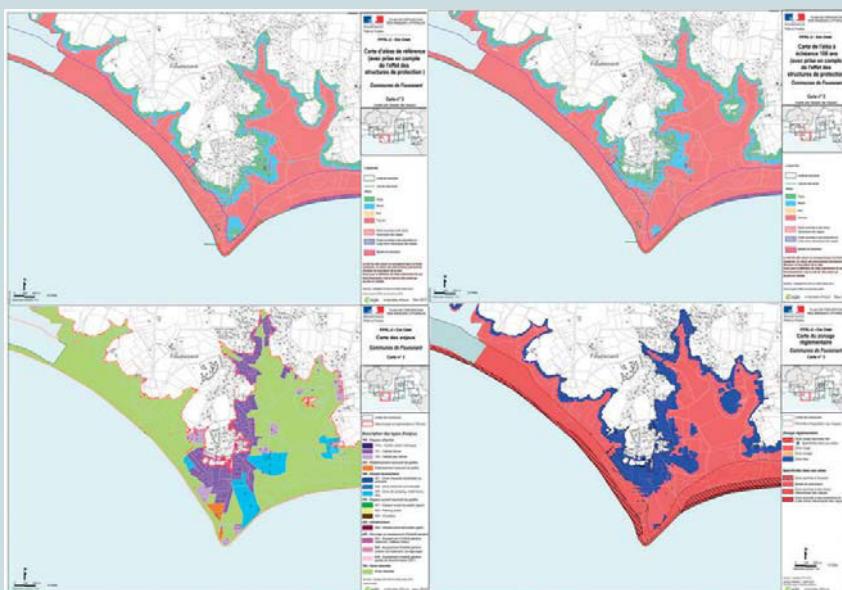


Figure D9 – Aléas et enjeux du PPRL de Fouesnant 2016

Source : d'après les bases de données Cadastre et ORTHO®

Réduire l'aléa et réduire la vulnérabilité

Pour réduire les risques naturels, il est possible de réduire l'intensité de l'aléa en cherchant à se protéger contre la survenue d'un événement d'une part, et réduire l'exposition des enjeux (habitations, bâtiments industriels et commerciaux, patrimoine historique et naturel, réseaux de transports, de télécommunications, d'électricité, d'eau...) en les adaptant à l'aléa.

La **protection contre un aléa naturel** peut passer par la réalisation d'ouvrages de protection comme une digue ou un paravalanche. Une digue ne réduit pas l'ampleur d'une inondation mais vise à protéger les biens et les personnes, donc à diminuer les dommages provoqués par la montée de l'eau. Il en va de même avec les barrières anti-avalanches, les coupes pare-feu dans les forêts, les grillages anti-éboulements sur le flanc de certaines routes de montagne qui empêchent le déclenchement ou la propagation du phénomène.

La mise en place de protections se justifie pour protéger les enjeux existants. Elle requiert cependant plusieurs points d'attention :

- examiner, sur l'ensemble de la zone de risques, les conséquences des dispositifs de protection mis en place, notamment en aval pour les inondations ;
- intégrer le fait que les ouvrages de protection ne sont pas infaillibles et prendre en compte des hypothèses de défaillance dans les règles d'urbanisme à proximité de ces ouvrages. Dans le cas des digues, la jurisprudence (Conseil d'État, 06/04/2016, *MEDDE c/Bonnefond*, n° 386000) établit que lorsque les terrains sont situés derrière un ouvrage de protection, il appartient à l'autorité compétente de prendre en compte non seulement la protection qu'un tel ouvrage est susceptible d'apporter, eu égard notamment à ses caractéristiques et aux garanties données quant à son entretien, mais aussi le risque spécifique que la présence même de l'ouvrage est susceptible de créer, en cas de sinistre d'une ampleur supérieure à celle pour laquelle il a été dimensionné ou en cas de rupture. Il convient donc, derrière une digue, de prévoir une zone de sur-aléa ;
- garder en mémoire que les ouvrages demandent un entretien régulier. Ils font l'objet d'une réglementation et d'un contrôle spécifiques par les services de l'état ;
- adapter les réseaux et infrastructures essentiels assurant les services de base à la population, tels que transports (fiabilité et confort climatique), énergie, télécommunication, réseaux d'eau potable, collecte des eaux usées et pluviales permettra de mieux anticiper les crises (ONERC, 2017).

Les ouvrages de protection ne permettent pas de réduire les phénomènes climatiques diffus tels que les vagues de chaleur ou les tempêtes pour lesquels la réduction des risques passera par l'adaptation des enjeux à l'aléa.

En matière de prévention des inondations, la réforme dite « Gemapi » et le décret « digues » de 2015 (décret n° 2015-526 du 12 mai 2015) constituent des temps forts législatifs et réglementaires.

Depuis le 1^{er} janvier 2018, la loi attribue aux intercommunalités la compétence de gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations (Gemapi), de

manière obligatoire et exclusive. Cette compétence devra permettre, à partir de plus de 9 000 km de digues existantes aujourd’hui, d’identifier, à terme, les quelque 4 000 km qui présentent un enjeu fort de protection des populations. Une fois identifiées, elles seront autorisées en tant que système d’endiguement, dans le cadre prévu par le décret «digues». Ce travail requiert une mobilisation importante des collectivités locales et des services de l’État dans les cinq à dix ans à venir. La mise à niveau des systèmes d’endiguement par les collectivités devrait entraîner un recours accru au FPRNM, en complément des autres financements mobilisables, et notamment la taxe Gemapi que chaque intercommunalité est libre de lever ou non (dans la limite de 40 euros multiplié par le nombre d’habitant de l’intercommunalité).

Il convient de souligner qu’à travers le choix du législateur de confier cette compétence aux intercommunalités, déjà en charge de l’aménagement, c’est bien la meilleure prise en compte du risque d’inondation dans l’aménagement qui est recherchée, tout en maximisant les cobénéfices avec une bonne gestion des milieux aquatiques. Le législateur a ainsi prévu la possibilité de regroupement des intercommunalités entre elles, dans une logique de bassin versant par exemple, tout en maintenant de la souplesse dans les modalités d’exercice de la compétence.

Parallèlement à cette nouvelle compétence, le cadre réglementaire des PPR inondations (PPRI) est en cours d’évolution (encadré 7) dans la même logique de cohérence entre les systèmes d’endiguement tels que définis par la collectivité et l’aménagement du territoire qu’elle porte. Si la caractérisation de l’aléa nécessite de tenir compte d’une possible défaillance de la digue, l’élaboration de la partie réglementaire du PPR inondation pourra tenir compte, de façon très encadrée, de la meilleure gestion des ouvrages de protection dans le cadre de la réforme Gemapi.

Au fur et à mesure des révisions, la mise en cohérence progressive de la prévention des inondations permettra que ces mêmes collectivités s’appuient sur des démarches stratégiques de type PAPI (chapitre D, « Exemples de mise en œuvre »).

La réduction de la vulnérabilité des bâtiments permet d’adapter le territoire aux risques, d’accroître la résilience, sans déplacer les enjeux exposés, par la mise en place de dispositifs visant à rendre les enjeux exposés plus résilients face à un aléa naturel. Il peut s’agir d’éléments légers comme la pose de batardeaux (cloisons amovibles équipées de joints étanches) devant les portes et les fenêtres pour protéger l’intérieur de la maison d’une inondation, mais aussi de mesures plus structurelles : construction de bâtiments résistants aux vents forts dans les zones soumises à des aléas cycloniques, dotés d’un étage non habité ou d’une pièce refuge à l’étage en zones soumises aux inondations, construction de fondations intégrant le risque de sécheresse et de retrait-gonflement des argiles…

Encadré 9

Réduire le dommage au bâti soumis au retrait-gonflement des argiles

Les mouvements de sol induits par le retrait-gonflement des argiles constituent un risque majeur en raison de l'ampleur des dégâts matériels qu'ils provoquent, notamment parce qu'ils touchent la structure même des bâtiments. Ce phénomène, qui s'amplifie avec le changement climatique, représente, pour la période 1990-2013, 8,6 milliards d'euros d'indemnisation et des centaines de milliers de maisons en France. Il touche principalement les maisons individuelles, qui disposent souvent de fondations plus légères que les bâtiments collectifs, et dont les maîtres d'ouvrages sont souvent des particuliers et non des professionnels de la construction. Il est essentiel de réduire le nombre de sinistres liés à ce phénomène, d'autant que l'application de règles de l'art simples et bien connues permet d'éviter tout sinistre, grâce à la réalisation de fondations ad hoc.

Dans cet esprit, la loi dite « Élan » (évolution du logement, de l'aménagement et du numérique), prévoit la réalisation d'un diagnostic géotechnique préalable à la vente des terrains constructibles situés en zones à risque. Il reviendra ensuite au constructeur de prendre en compte les éléments issus de cette étude pour prévoir les dispositions constructives nécessaires et optimiser le coût des fondations. Ce dispositif permettra de traiter le sujet de manière plus rapide et efficiente que les PPR « argile ». Cette mesure, à terme, soulagera la mobilisation du Fonds CatNat.

Plusieurs mesures permettent de renforcer la dynamique de réduction de la vulnérabilité et favoriser un retour à la normale à la suite d'un événement climatique :

- Les PPRN, lorsqu'ils existent, intègrent généralement des mesures prescriptives visant à réduire la vulnérabilité du bâti existant. Cela peut concerner par exemple la pose de batardeaux ou la création d'un espace refuge pour se protéger des inondations. Ces mesures bénéficient, pour les particuliers, d'un soutien à travers le Fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM) à hauteur de 40 % du montant des travaux, dans la limite de 10 % de la valeur monétaire du bien. La mise en œuvre de ces mesures doit être encouragée en mobilisant notamment les assureurs pour qu'ils incitent leurs clients à rendre leurs biens plus résilients ;
- Il n'existe pas, à ce jour, de norme ou d'étiquette « résilience des bâtiments ». La réduction de la vulnérabilité, hors des PPRN en particulier, nécessite donc tout particulièrement la formation des différents intervenants (architectes, ingénieurs en génie civil, entrepreneurs) en matière de conception et de prise en compte des phénomènes climatiques et géologiques et de définition des règles de construction, sur la base de bonnes pratiques ou de la documentation existante (ex. référentiel de travaux de prévention du risque d'inondation dans l'habitat

existant¹⁶⁾. Elle relève également d'une implication des propriétaires qui doivent agir personnellement afin de réduire la vulnérabilité de leurs biens, et être prêts, dans certains cas, à consentir à un coût supplémentaire. Ces bonnes pratiques peuvent tout particulièrement être mises en œuvre lors d'opérations d'amélioration de l'habitat et de renouvellement urbain. Elles seraient mieux encouragées avec un accompagnement accru, en particulier après une catastrophe ou un retour concret au travers des coûts d'assurance par exemple. La meilleure reconstruction suite à une catastrophe reste un enjeu majeur ;

- La réduction de la vulnérabilité des réseaux constitue également un axe fort de la prévention, compte tenu de la dépendance croissante des populations et de l'économie vis-à-vis des réseaux de transports, d'énergie, de télécommunications, d'eau et d'assainissement. Au-delà des dommages purement matériels, les dysfonctionnements induits en cas d'incident se répercutent sur les activités et les échanges qui en sont tributaires, d'autant plus que les réseaux sont interconnectés entre eux : une coupure d'électricité peut compromettre l'assainissement et la distribution de l'eau, une coupure de tronçon de route peut gêner les services de secours. Le coût d'une crue centennale en Île-de-France pourrait par exemple s'élever à 30 milliards d'euros selon l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) compte tenu notamment des coûts indirects dont ceux liés au dysfonctionnement des réseaux. Plusieurs initiatives ont été prises dans certains territoires. On peut citer, en Île-de-France, la déclaration d'intention afin de réduire la vulnérabilité des réseaux en cas d'inondation, signée en avril 2016 avec les opérateurs de réseau dans les domaines de l'énergie, des télécommunications, de l'eau, de l'assainissement et des transports et les collectivités compétentes.

Encadré 10

Le Grand prix d'aménagement « Comment bâtir en terrains inondables constructibles »

Dans la suite de l'adoption de la stratégie nationale de gestion des risques d'inondation (SNGRI) avec l'objectif essentiel pour les populations « mieux vivre en zone inondable », en 2014, un grand concours international d'architecture, adapté aux terrains inondables constructibles, a été organisé. Ceci a montré qu'il est possible de construire sur de tels terrains, dès lors que les populations qui y habitent ou y travaillent ne sont pas mises en danger et que leurs biens ne risquent pas d'être endommagés par l'eau au moment du passage de la crue ou des remontées de nappes. Cette démarche met ainsi en avant des projets innovants en quartiers

16. http://www.cohesion-territoires.gouv.fr/IMG/pdf/referentielinondation_definitions_et_domaine_d_application.pdf



Figure D10 : Romorantin-Lanthenay lors de la crue de juin 2016

© Ville de Romorantin-Lanthenay.

inondables constructibles, dans le respect des réglementations d'urbanisme et de prévention des risques, permettant d'atteindre les objectifs de la stratégie nationale de gestion des risques d'inondation en complémentarité avec les autres politiques publiques.

Lors de la première édition en 2015, vingt-deux projets lauréats ont été primés, comme celui de la reconversion des anciennes usines Matra à Romorantin-Lanthenay qui a montré toute sa pertinence, par sa résilience, lors des inondations en juin 2016.

En 2016, une deuxième session a été élargie aux projets en cours de conception ou portant simplement sur des dispositifs constructifs. Dix projets ont été ainsi retenus. Le jury s'est attaché à observer d'abord l'exemplarité, la méthode, l'approche intégrée et le rapport aux usages. Un nouvel appel à projets est prévu en 2019.

Le palmarès 2016 et la plaquette des projets lauréats sont consultables sur le site Internet du ministère chargé de l'environnement.

<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/laureats-du-grand-prix-damenagement-comment-mieux-batir-en-terrains-inondables-constructibles>

Préparer et gérer la crise

Le risque zéro n'existe pas. Quelles que soient l'importance et l'efficacité des mesures préventives, les pouvoirs publics ont le devoir, une fois l'évaluation des risques établie, d'organiser les moyens de secours nécessaires pour faire face aux crises. Cette organisation nécessite un partage équilibré des compétences entre l'État et les collectivités territoriales.

En cas de crise, le Premier ministre dispose de la Cellule interministérielle de crise (CIC) qu'il active en fonction des nécessités. La CIC assure la gestion stratégique de la crise au niveau gouvernemental. Elle organise à cette fin une centralisation et une synthèse des informations en provenance des différents ministères impliqués. Elle reçoit également les informations en provenance des préfets de département et de zone de défense et de sécurité. En son sein, elle dispose d'organes interministériels respectivement chargés de l'analyse et de l'anticipation, de la communication gouvernementale et de la logistique interministérielle de crise.

Le ministère de l'Intérieur est également un acteur de premier plan pour la préparation et la gestion des crises, ainsi que l'organisation des compétences des collectivités locales. En cas de crise, le ministre de l'intérieur s'appuie sur le Centre opérationnel de gestion interministérielle des crises (COGIC) de la Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises (DGSCGC). Le COGIC assure un suivi permanent, permettant de renseigner les autorités sur tout événement de sécurité civile jugé important par son ampleur, par sa spécificité ou son impact médiatique. Il est en mesure d'assurer la gestion et la coordination d'une crise de niveau national. Il assure une partie, dans son domaine particulier, de la permanence de la capacité de réponse de l'État en étroite coordination, si nécessaire, avec la CIC. Dans ce cadre, le COGIC assure son rôle de synthèse des informations de la chaîne territoriale dans le domaine du «métier sécurité civile». Il s'assure de la transmission des décisions de la CIC aux Zones de défense et de sécurité (ZDS). Enfin, le COGIC est le point d'entrée des demandes d'aides du mécanisme européen de protection civile via le Centre européen de réponse des crises (ERCC). Le COGIC peut être redéployé géographiquement dans le cadre du plan de continuité d'activité, en particulier en déployant le Module d'appui et de gestion de crise (MAGEC) sur un site approprié.

Les différents ministères s'appuient sur leurs services déconcentrés, sous l'égide des préfets.

Dans sa commune, le maire est responsable de l'organisation des secours de première urgence et est à même de mettre en œuvre le Plan communal de sauvegarde (PCS). Ce plan, qui s'appuie sur les informations contenues dans le Dossier d'information communal sur les risques majeurs (DICRIM), détermine, en fonction des risques connus, les mesures immédiates de sauvegarde et de protection des personnes ; fixe l'organisation nécessaire à la diffusion de l'alerte et des consignes de sécurité ; recense les moyens disponibles et définit la mise en œuvre des mesures d'accompagnement et de soutien à la population.

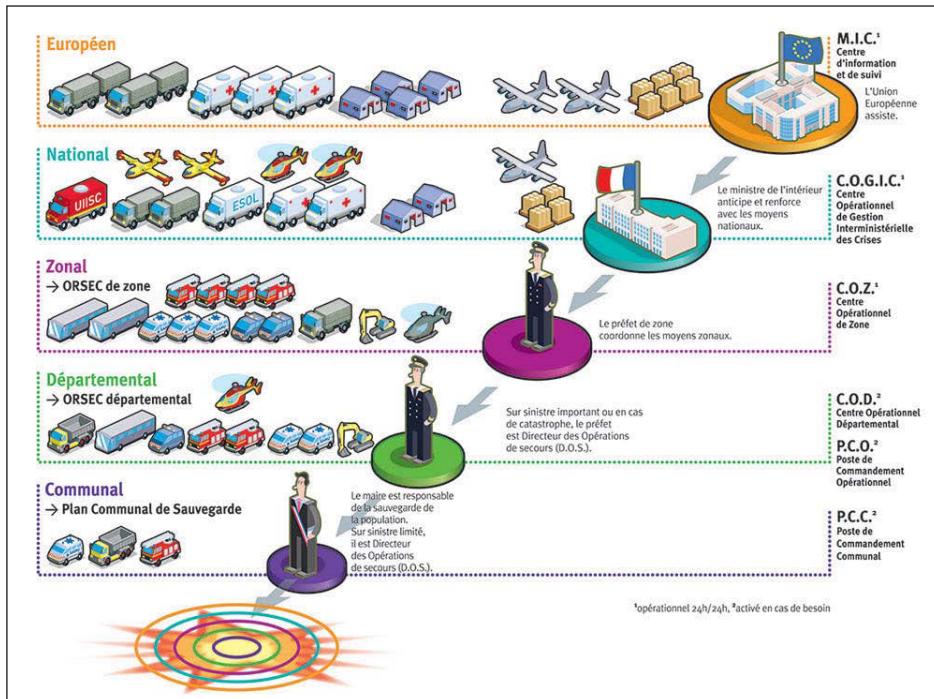


Figure D11 – Schéma de fonctionnement des différentes instances de gestion de crise du ministère de l'Intérieur

Source : <http://www.reseau-canope.fr/risquesetsavoirs/la-gestion-des-crises.html>

Le PCS est obligatoire dans les communes dotées d'un PPRN approuvé ou situées dans le champ d'application d'un plan particulier d'intervention (en cas d'installations industrielles ou de certains aménagements hydrauliques). En cas de survenance d'une catastrophe, ce plan intègre les moyens de la commune dans le dispositif de gestion aux côtés des autres intervenants (secours publics, associations...). L'élaboration des PCS reste un enjeu fort, le nombre de PCS étant encore très inférieur à celui du nombre de communes couvertes par un PPRN, environ 8 000 PCS contre 15 500 PPRN.

Dans les communes concernées par un PPRN, le maire est également tenu d'informer ses administrés des risques auxquels la commune est exposée, au moins une fois tous les deux ans. Cette information est délivrée avec l'assistance des services de l'État compétents, à partir des informations relatives au risque que le préfet transmet au maire. La mobilisation des maires pour porter les messages de sensibilisation est donc particulièrement importante.

Lorsque l'organisation des secours revêt une ampleur ou une nature particulière, elle fait l'objet, dans chaque département et dans chaque zone de défense et en mer, d'un dispositif organisant la réponse de sécurité civile (ORSEC, loi de modernisation de la Sécurité civile du 13 août 2004). Le dispositif ORSEC (Organisation

de la réponse de la Sécurité civile) départemental est arrêté par le préfet et détermine, compte tenu des risques existants dans le département, l'organisation générale des secours et recense l'ensemble des moyens publics et privés susceptibles d'être mis en œuvre. Il comprend des dispositions générales applicables en toutes circonstances et d'autres propres à certains risques particuliers identifiés, dont les risques naturels, ou liés à l'existence et au fonctionnement d'installations ou d'ouvrages déterminés.

Le dispositif ORSEC de zone est mis en œuvre en cas de catastrophe affectant au moins deux départements de la même zone de défense, ou rendant nécessaire la mise en œuvre de moyens dépassant le cadre départemental. Le dispositif Orsec maritime décline ces principes pour les risques existants en mer.

Le dispositif ORSEC prévoit notamment que les établissements d'enseignement des premier et second degrés font partie des établissements recevant du public devant s'auto-organiser en cas d'événement majeur les affectant. Par conséquent, chaque établissement d'enseignement doit prendre en compte les risques prévisibles auxquels il est exposé et déterminer les mesures nécessaires pour assurer la mise en sûreté des élèves et des personnels en cas d'accident majeur. Cela passe par un Plan particulier de mise en sûreté (PPMS) élaboré par le chef d'établissement et qui doit faire l'objet d'un exercice annuel spécifique. Les PPMS, même s'ils se distinguent des différents plans de secours, peuvent être articulés avec le dispositif ORSEC et avec le PCS pour les communes qui en disposent.

Encadré 11

Retour sur la saison cyclonique 2017 aux Antilles

Le cyclone Irma, d'une ampleur exceptionnelle (287 km/h enregistré), a frappé, de manière différenciée, une grande partie des îles de la Caraïbe du 30 août au 12 septembre 2017, et plus particulièrement début septembre les îles de Saint-Martin et Saint-Barthélemy. Des vents de plus de 300 km/h se sont abattus sur les deux îles pendant plusieurs heures, provoquant des phénomènes de submersion marine ; épisode suivi d'un deuxième cyclone, José, le 9 septembre qui passera à proximité immédiate des îles sans y entraîner de dommages majeurs. Puis du 18 au 19 septembre, c'est au tour du cyclone Maria d'impacter la Guadeloupe.

Sur la base des prévisions de Météo-France, l'alerte cyclonique violette, qui prévoit le confinement de populations et l'interdiction totale de circuler, a été déclenchée. L'anticipation du phénomène s'est appuyée notamment sur l'utilisation du PPRN pour organiser l'évacuation d'une partie de la population avant le passage d'Irma à Saint-Martin.

L'anticipation, facteur essentiel du début de la gestion de crise, caractérisée par une mobilisation, plusieurs jours avant l'arrivée d'Irma (phase anticipation)

Suivi par les services de la préfecture de la zone Antilles, l'ouragan Irma a attiré l'attention des autorités bien avant la date d'impact prévisionnel (6 septembre).

Ainsi, dès le 1^{er} septembre, la DGSCGC a été pré-alertée par l'État-major Interministériel de la zone Antilles des hypothèses de trajectoire dont la plus défavorable a orienté la décision de prépositionner, avant l'arrivée du phénomène, des moyens de sécurité civile dans les îles du Nord :

- une mission d'appui en situation de crise composée de cinq personnes au service de la préfète déléguée à Saint-Martin ;
- un détachement d'intervention « cyclone » des formations militaires de la sécurité civile composé de cinquante-sept personnes déployé à Saint-Martin et Saint-Barthélemy.

Dès le 4 septembre, soixante-deux sapeurs-sauveteurs étaient déployés avant l'impact d'IRMA sur les îles du Nord en renfort des moyens locaux.

Une réponse post-cyclonique Irma adaptée à la survenance des ouragans José et Maria (phases de montée en puissance et d'anticipation)

En appui des remontées d'informations sur l'étendue des dégâts dans les zones impactées, mais également compte tenu de l'arrivée des deux autres ouragans José (9 septembre) et Maria (18 septembre), la réponse opérationnelle de sécurité civile a alterné entre l'anticipation et la montée en puissance en s'articulant autour de :

- l'engagement d'un détachement de sécurité civile composé de dix personnes pour mettre en œuvre et activer une plateforme logistique en Guadeloupe ;
- l'engagement de trois détachements « cyclone » en réponse au cyclone Irma, un détachement des formations militaires de la sécurité civile (soixante-deux personnes), deux détachements de sapeurs-pompiers territoriaux (Île-de-France et Sud, respectivement soixante et soixante-six personnes) ;
- le déploiement d'une mission d'appui en situation de crise au service de l'État-major interministériel de la zone Antilles (cinq personnes) ;
- la mise en place d'une mission d'appui en situation de crise (cinq personnes) au service de la préfecture de Guadeloupe ;
- la mise en place d'un groupe de commandement (cinq personnes) au service des îles du Nord.

Par ailleurs, l'approche de Maria, identifiée dès le 15 septembre, a motivé le déploiement de renforts supplémentaires en Guadeloupe :

- en anticipation, l'engagement d'un détachement des formations militaires de la sécurité civile de plus de 100 sapeurs-sauveteurs ;

- en réponse, l'engagement de deux détachements composés de sapeurs-pompiers et de militaires, soit plus de 160 personnes.

Au plus fort de la crise, ce sont près de 550 sapeurs-pompiers et militaires de la sécurité civile qui étaient déployés dans les différentes îles des Antilles. Plus de 610 personnes ont servi en cumulé sur cette opération.

L'accompagnement vers la reconstruction (phase de ré-articulation)

La phase d'urgence étant passée, une ré-articulation (sortie de crise), prenant en compte un désengagement partiel des moyens de sécurité civile, s'est opérée à compter du 4 octobre.

Un détachement des formations militaires de la sécurité civile de 57 puis 40 militaires de la sécurité civile a été maintenu à Saint-Martin jusqu'au 15 décembre.

Les opérations réalisées

Les différents détachements engagés ont œuvré dans le domaine des missions d'assistance à la population suite au passage d'un ouragan.

Les opérations se sont néanmoins concentrées sur la satisfaction des besoins primaires : eau (3,9 millions de litres d'eau distribués, équivalent à une piscine olympique) et nourriture (34 150 rations et 353 tonnes de denrées distribuées).

Pour autant, les détachements ont également été engagés dans les missions habituelles inhérentes à ce type de catastrophe :

- mise hors d'eau de bâtiments, soit environ 50 000 m² de toitures bâchées ;
- 29 kilomètres de routes dégagés ;
- aide à la reconstruction, soit cinquante-cinq actions de sécurisation et de réhabilitation d'établissements scolaires, sept actions de réhabilitation de centres commerciaux et entreprises.

Les conséquences économiques ont été estimées à presque 2 Mds€¹⁷ pour les biens assurés dans le cadre du régime CatNat, ce qui en fait l'un des événements les plus coûteux depuis la création du régime de catastrophes naturelles. Le contrôle de la construction et la résilience des réseaux sont au cœur d'une reconstruction moins vulnérable et de la mission confiée au délégué interministériel à la reconstruction nommée par le Gouvernement.

En dehors des enjeux de mise en sécurité des populations, d'autres thématiques sont à considérer en matière de gestion de crise. La gestion des déchets, par exemple, et leur traitement en situation de crise et post-crise est un enjeu fort tant pour des questions de santé publique que de retour à la normale des

17. *Les catastrophes naturelles en France, Bilan 1982-2017, CCR.*

territoires sinistrés. Une catastrophe climatique est susceptible de générer de grandes quantités de déchets dont la gestion doit être assurée malgré les perturbations engendrées par la catastrophe. Les récentes inondations survenues en 2016 et 2018 sur le bassin de la Seine ont rappelé une fois encore la nécessité de prendre en compte cet aspect dans la politique de prévention. Le cadre législatif et réglementaire de la planification des déchets actuellement en vigueur prévoit d'ailleurs que les Plans de prévention et de gestion des déchets non dangereux et dangereux comprennent des mesures permettant d'assurer la gestion des déchets en situations exceptionnelles, notamment celles susceptibles de perturber la collecte et le traitement des déchets. Plusieurs guides existent pour accompagner les collectivités et promouvoir les bonnes pratiques en la matière.

S'améliorer sur la base des retours d'expérience

Après la gestion de crise d'une catastrophe vient la reconstruction. C'est la période la plus difficile, la plus longue, et la moins sensationnelle. Succédant à la gestion de crise, tant suivie par les médias, la reconstruction s'installe et « fait oublier » la catastrophe. Pour autant, c'est une phase cruciale pour assurer la résilience du territoire.

Lorsque la catastrophe arrive, elle fait ressortir les « racines profondes » de la vulnérabilité du territoire. Le *Pressure and Release Model* (Blaikie et al., 1994, fig. D12) lie les causes profondes aux dynamiques territoriales et aux conditions de vie actuelles pour comprendre la catastrophe ; l'aléa agit comme un révélateur des vulnérabilités inhérentes aux territoires. Le rapport du préfet Philippe Gustin pour la reconstruction de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy (2017) signalait ainsi qu'« *il est nécessaire de rappeler à titre préliminaire quelques éléments factuels relatifs à Saint-Martin et Saint-Barthélemy. Les spécificités politiques, territoriales, culturelles et administratives de ces îles présentent un caractère si particulier qu'elles auront nécessairement un impact sur les ambitions portées pour leur reconstruction* ». Tout le long de ce rapport, les difficultés endémiques aux deux collectivités et leurs caractéristiques intrinsèques, qui sont rendues visibles pendant la phase de reconstruction, sont rappelées. Ceci fait écho aux propos de la mission interministérielle montrant qu'il s'agit bien plus que d'une reconstruction mais d'une « refondation » des îles du Nord. Ainsi, la reconstruction ne relève pas seulement d'une reconstruction à l'identique ou d'une question technique, mais elle nécessite aussi de prendre en compte les questions socio-économiques pour « refonder » des territoires plus résilients.

La vulnérabilité est un concept évolutif : penser l'après-catastrophe permet d'agir sur ces « causes profondes » de la vulnérabilité et de dévier de la trajectoire de vulnérabilité. Cela augmente donc la résilience, à terme, du territoire. Cependant, pour être efficace, il faut savoir exploiter les opportunités et maîtriser la gestion des fonds de manière à ne pas creuser les inégalités mais à les réduire, surtout dans des territoires très exposés. Les enjeux pour passer du « désastre au développement » sont ainsi étroitement liés (Moatty et al., 2017).

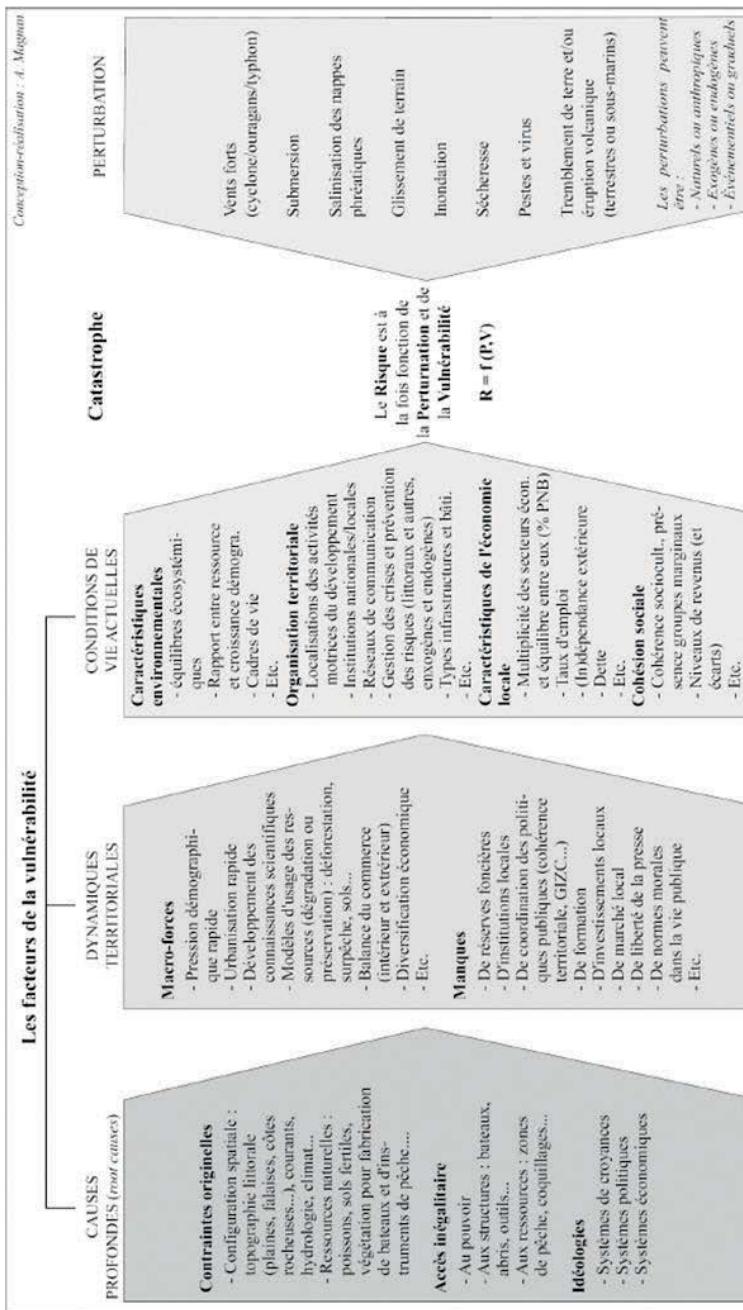


Figure D12 – Le Pressure and Release Model, ou les forces et faiblesses sous-jacentes du système

Sources : d'après Blaikie et al., 1994, tiré de Magnan, 2009, pour les territoires littoraux.

Il s'agit donc de mieux appréhender la reconstruction pour exploiter la « fenêtre d'opportunité » qu'elle ouvre tout en anticipant assez pour y intégrer une phase « d'éthique préventive »¹⁸ (prévenir la reconstruction « phase préventive » tout en y intégrant des mesures pour réduire les vulnérabilités et donc aussi les inégalités environnementales¹⁹ « phase éthique »). Anticiper, notamment en construisant un document de cadrage, permettrait à la fois d'éviter de mal reconstruire et d'exploiter la fenêtre d'opportunité au mieux, mais aussi d'agir sur les causes profondes de la vulnérabilité afin de ne pas générer davantage d'inégalités environnementales après la catastrophe. Au Japon par exemple, un plan d'anticipation de la reconstruction en cas d'éruption du mont Fuji a été élaboré en 2001, et ce, à l'échelle nationale.

De cette manière, on agit aussi sur les causes de la maladaptation à long terme.

Le processus de reconstruction d'un point de vue institutionnel peut être défini comme l'élaboration par les gestionnaires et décideurs (bailleurs de fonds, services de l'État, élus et institutions) de politiques, stratégies et programmes d'actions, à destination des acteurs locaux (élus locaux, populations et associations) pour leur donner les moyens d'accompagner le relèvement des individus, restaurer l'accessibilité du territoire et de réduire les risques (Moatty, 2015). L'enjeu majeur de la prévention des risques est de poursuivre et renforcer encore la mobilisation de l'ensemble des acteurs et des parties prenantes. Au regard des enjeux du changement climatique des voies d'amélioration concrètes se dégagent alors :

- **La meilleure résilience²⁰ des bâtiments**, notamment lors de la reconstruction après catastrophe. Dans la mesure où il est difficilement envisageable de mettre en place à l'heure actuelle une norme « résilience des bâtiments », d'autres outils devront être mobilisés, outre l'exemplarité et la pédagogie. Cela pourrait passer par des incitations économiques ou financières qui pourraient relever soit du régime assurantiel, soit d'un soutien adapté du FPRNM. À ce jour, et c'est indispensable, l'action publique est priorisée sur les zones à plus fort enjeux que sont les territoires soumis à PPRN. La question pourrait se poser d'un accompagnement ciblé pour améliorer la résilience de territoires qui n'ont pas vocation à être couverts par un PPR, une démarche en ce sens a été engagée dans le cadre des PAPI (chapitre « Exemples de mise en œuvre »). Des mesures ou soutiens spécifiques pourraient aussi permettre une meilleure reconstruction après sinistre. L'accompagnement par les assureurs des particuliers et des entreprises, en termes de conseil pour des reconstructions plus résilientes est une voie qui se met progressivement en place. S'agissant de l'accompagnement financier, les taux et conditions d'utilisations actuels du FPRNM, pour des travaux de réduction de la vulnérabilité prévus dans un PPRN, laissent un reste à charge pour les particuliers. Une expertise pourrait conduire

18. L'éthique préventive est un ensemble de mesures permettant la prise en compte de l'aléa dans le zonage de la reconstruction, le respect des normes préventives de la reconstruction, et la mise en place de mesures de gestion d'une prochaine crise (alerte, évacuation, etc.) (Vinet et al., 2011).

19. La notion d'inégalités environnementales désigne des situations dans lesquelles les vulnérabilités environnementales sont indissociables des vulnérabilités sociales (Taylor, 2000, tiré de Claeys et al., 2017).

20. Voir glossaire.

à s'interroger sur le niveau de ce soutien et au besoin à envisager une révision des taux actuels pour les rendre plus attractifs et que s'enclenche une dynamique de diagnostics et de travaux de réduction de la vulnérabilité du bâti. Enfin, la réponse à certains aléas pour lesquels aucune protection intégrale ne peut se concevoir demandera encore un travail particulier sur la résilience des bâtiments, c'est le cas en matière de risque cyclonique. Si le retour d'expérience sur le cyclone Irma tend à montrer que les constructions parasi-miques ont mieux résisté (toiture exceptée) à l'ouragan, il reste sans doute à mieux définir ce que serait une construction paracyclonique et à apporter des réponses à l'habitat illégal.

- **La transformation des territoires les plus exposés aux effets du changement climatique.** L'approbation de PPRN, les mesures de réduction de la vulnérabilité, les approches en termes de programme d'action comme les PAPI, sur des périmètres aussi pertinents que possible au regard de l'aléa ont consolidé, au cours des dernières décennies, une politique de prévention des risques naturels partenariale, qui apporte également des réponses aux enjeux du changement climatique. La réponse au recul du trait de côte en fournit un exemple (encadré 15).

Chaque catastrophe naturelle constitue une occasion de progresser dans la prévention et de rechercher comment créer les conditions nécessaires à la diminution du risque pour l'avenir. Le retour d'expérience permet de tirer les leçons d'une action et d'affiner la connaissance des phénomènes.

Au niveau national, le ministère de l'intérieur assure la synthèse et la diffusion au niveau national des retours d'expérience réalisés sous l'autorité du représentant de l'État après tout recours au dispositif Orsec, qu'il s'agisse d'un événement réel ou d'un exercice.

Le ministère chargé de l'environnement analyse tout particulièrement ces retours d'expériences de manière à :

- centraliser au mieux et analyser les données relatives aux catastrophes (manifestations du phénomène, chronologie);
- constituer des pôles de compétences pour aider les territoires impactés à améliorer la prévention des risques et leur résilience et à réduire les dommages ;
- assurer la diffusion des enseignements tirés de l'analyse des phénomènes et des catastrophes survenus en France ou à l'étranger.

Concernant le risque inondation, les services de prévision des crues des Dreal et le Schapi ont en charge de capitaliser la connaissance locale sur les cours d'eau et les événements extrêmes survenus par le passé. Ils peuvent assister les autorités locales dans la pose de repères de crues sur des bâtiments ou des ouvrages caractéristiques.

Les événements majeurs font l'objet de retours d'expérience interministériels. Le Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD), placé directement auprès du ministre chargé de l'environnement, contribue aux rapports de mission d'expertise sur des événements majeurs, tels que les tempêtes

de 1999, et plus récemment les inondations de la Seine en 2016 et 2018. Des réflexions sont en cours pour capitaliser au mieux ces retours d'expérience dans un format plus systématique qui en faciliterait l'analyse.

Par ailleurs, le ministère chargé de l'environnement soutient et participe à l'organisation de manifestations commémoratives au niveau local (crue de 1910) et aux actions engagées par les associations en faveur de la capitalisation de la mémoire des événements.

Encadré 12

La vigilance météorologique, un processus d'amélioration continue

Le dispositif de vigilance météorologique, encadré par une circulaire interministérielle (ministère de l'Intérieur et ministère de la Transition écologique et solidaire), est opéré et diffusé par Météo-France via de nombreux médias de communication. C'est une procédure d'avertissement de la population, des autorités et des médias sur le risque d'occurrence de phénomènes météorologiques et hydrologiques dangereux dans les 24 heures à venir. Chaque jour, elle est actualisée plusieurs fois, systématiquement à 6 heures et 16 heures, et autant que nécessaire en cas de changement de niveau de risque.

La carte de vigilance est produite en coopération avec Santé publique France pour ce qui concerne la canicule et avec le Service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM) pour l'aléa vagues-submersion. Elle est articulée avec Vigicrues pour les aléas pluie-inondation et inondation.

En cas de risque marqué, niveau de vigilance orange voire rouge, la carte s'accompagne de bulletins nationaux et régionaux. Ces bulletins précisent les zones concernées par le ou les aléas, la temporalité et l'intensité des phénomènes attendus ou en cours.

Au fil des années et des retours d'expérience sur les événements climatiques majeurs, le dispositif de vigilance a évolué et s'est enrichi pour mieux informer la population et fournir les conseils de bons comportements en cas de phénomène météorologique dangereux.

– La vigilance de Météo-France a été créée suites aux tempêtes *Martin* et *Lothar* de 1999. Un des constats, suite à ces catastrophes, était qu'une meilleure information de la population aurait pu limiter les conséquences dramatiques de ces événements (140 victimes pour l'ensemble de l'Europe, dont 92 pour la France métropolitaine). Mise en place en 2001 pour cinq aléas météorologiques en métropole (vent violent, fortes précipitations, orages, neige-verglas, avalanches), la vigilance est conçue pour une échelle départementale adaptée aux structures de planification et de gestion des crises et selon 4 niveaux de couleurs correspondant à des

niveaux de risque (vert, jaune, orange, rouge). Elle est articulée avec les dispositifs d'alerte (ORSEC) mis en œuvre par les autorités départementales et municipales (préfet, maire...).

- En 2004, les aléas canicule et grand froid sont ajoutés, suite notamment à la canicule de l'été 2003.
- Pour prendre en compte les conséquences hydrologiques des fortes précipitations, les fortes pluies ont été remplacées en 2007 par le risque « pluie-inondation » (risque de fortes pluies et/ou d'inondations associées). Cela a également permis de relayer le niveau de vigilance de Vigicrues dans la vigilance météorologique.
- En octobre 2011, un an et demi après la tempête *Xynthia*, la vigilance « vagues-submersion » a complété le dispositif;
- Depuis 2016, la chronologie de la vigilance est accessible pour chaque département. Cela permet de connaître l'évolution temporelle de la couleur de la vigilance, aléa par aléa ;
- Le travail se poursuit pour produire la vigilance météorologique à une échelle infradépartementale et étendre sa validité au lendemain. Par ailleurs, la vigilance vague-submersion va être étendue à l'outre-mer.

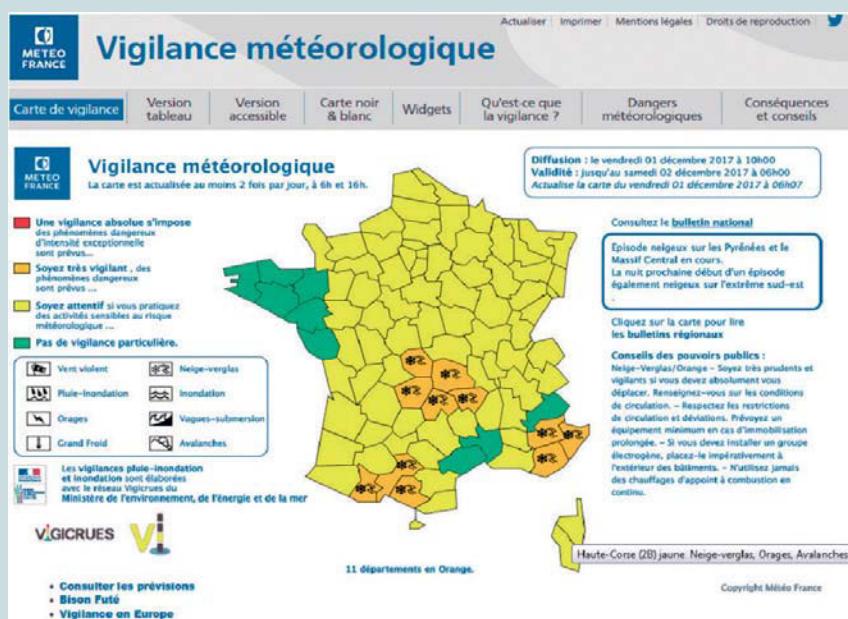


Figure D13 – Carte de vigilance météorologique du 1^{er} décembre 2017

Source : Météo-France.

Des réflexions autour de la reconstruction post-catastrophe ont déjà été menées en France, notamment dans le domaine de la géographie, l'objectif est d'en tirer une opportunité préventive. Les inondations en France métropolitaine, par exemple, ont fait l'objet de nombreux travaux, en raison de leur occurrence et de la phase post-catastrophe qui suit.

Projet RETINA (Irstea) : « Résilience des territoires face à l'inondation : pour une approche préventive par l'adaptation post-événement ».

Ce projet, mené de 2013 à 2016 dans le cadre des projets Risque décision territoire (RDT) du ministère chargé de l'environnement, cherchait à déterminer comment procéder aux différentes phases post-catastrophe par des retours d'expérience sur les inondations dans le Var (1999) et dans l'Aude (2010) : quel type d'adaptation pendant ces phases (réparation, reconstruction, réorganisation) ? L'idée était donc d'observer l'adaptation pendant les phases de « résolution des désordres » et d'en tirer des enseignements.

Projet RAITAP (Cerema) : « Repenser l'Action préventive face au risque d'inondation à une échelle territoriale intégrant l'Action post-inondation ».

Ce projet a donné des réponses importantes pour mieux comprendre la reconstruction post-catastrophe :

- L'existence d'une structure organisationnelle unique permet de prendre des décisions rapidement et efficacement. Cependant sa durée n'excède pas deux ans, elle ne réduit donc pas la vulnérabilité à moyen terme ;
- L'existence d'une équipe sur place, restreinte, permet de prendre des décisions de reconstruction dans l'urgence, bien que son efficience dépende des qualités personnelles des individus y travaillant ;
- S'il existe une dynamique de renouvellement urbain avant la catastrophe, il est plus aisément possible d'évoluer le projet en partant de la démarche pré-existante plutôt que de tout reconstruire ;
- Il y a une meilleure acceptabilité sociale de la reconstruction lorsque des vies sont exposées à l'aléa.

Réduction de la vulnérabilité et de l'exposition aux risques : exemples de mise en œuvre

Introduction

Devant l'augmentation prévisible des phénomènes extrêmes avec le changement climatique, la réduction des impacts sur les enjeux passera par la mise en œuvre de mesures sur l'exposition et sur la vulnérabilité.

Le bon fonctionnement des écosystèmes est à l'origine d'une multitude de services écosystémiques, constituant ainsi une des clés pour une meilleure atténuation et adaptation. Il faut donc veiller à renforcer la résilience des écosystèmes face au

changement climatique, dans une logique de maximisation des synergies entre préservation des écosystèmes et usages humains, en anticipant les transformations à venir et en privilégiant les solutions fondées sur la nature partout où cela est pertinent. La préservation, la restauration et le renforcement des continuités écologiques, en s'appuyant sur la trame verte et bleue et les infrastructures agro-écologiques ; le développement d'un réseau cohérent, connecté et représentatif d'aires protégées mettant en place une gestion adaptative ; la recomposition spatiale du littoral à des échelles de territoire pertinentes, en intégrant les espaces arrières littoraux et en respectant les cellules hydro-sédimentaires ; la végétalisation des espaces urbains ; la mise en place de techniques alternatives d'assainissement ; la proposition d'essences, si possible locales, mieux adaptées aux stations forestières et plus résilientes au feu et de modes de gestion paysagère limitant la propagation du feu sont autant d'exemples de solutions fondées sur la nature qui permettent d'accroître la résilience du territoire.

Le bâti devra également être adapté au changement climatique pour favoriser sa résilience aux risques tant naturels que sanitaires dans un urbanisme intégrant ce changement, notamment en utilisant les labels existants voire des moyens réglementaires. En zone urbaine, l'impact des vagues de chaleur dépend en grande partie des infrastructures en place, de l'urbanisme, du type d'habitat et des modes de vie. De nombreuses villes sont confrontées au phénomène d'« îlot de chaleur urbain » (ICU), qui désigne l'excès des températures de l'air observé régulièrement, près du sol, dans les zones urbaines en comparaison avec les zones rurales qui les entourent. Les maxima d'intensité de l'ICU peuvent aller de 2 °C pour une ville de 1 000 habitants jusqu'à 12 °C pour une ville de plusieurs millions d'habitants (ONERC, 2010). S'appuyer sur des solutions urbanistiques et architecturales innovantes permettrait donc de lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain et de renforcer le confort du bâti.

La réduction des risques d'inondation et de submersion entre dans cette approche dans le cadre des Plans de gestion du risque inondation, dont les PAPI constituent un outil et dont le troisième appel à projet met l'accent sur les milieux naturels particulièrement concernés par la mise en œuvre de cette approche sur les mesures autres que les travaux de protection.

L'exemple des Programmes d'action de prévention des inondations (PAPI)

La prévention des risques naturels se fait à des échelles emboîtées. Elle est particulièrement structurée pour le risque inondation, où l'action est menée de l'échelle du bassin hydrographique, à celle du bassin versant et jusqu'au territoire à risque important d'inondation. Ainsi le risque inondation est pris en compte de l'amont à l'aval des cours d'eau. Pour tous les aléas, sont ainsi mis en cohérence :

- des logiques de protection qui peuvent être relativement éloignées géographiquement des enjeux (par exemple, les barrages écrêteurs de crues) ;
- des aménagements des territoires au travers des PPR ou des PLU ;
- des réductions de la vulnérabilité des enjeux à l'échelle des bâtiments ;
- des mesures qui touchent aux comportements des personnes.

À cet emboitement géographique et institutionnel, correspond la complémentarité des différents outils. La mise en place des Programmes d'action de prévention des inondations (PAPI), portés par les collectivités locales, est l'illustration même d'une démarche équilibrée et inscrite dans la durée.

L'appel à projets national, permettant la labellisation et le subventionnement des PAPI par l'État via le FPRNM, existe depuis 2002. Il a été renouvelé en 2011, puis en 2018, au travers de cahiers des charges à destination des collectivités locales porteuses.

L'élaboration des PAPI demande en premier lieu celle de stratégies locales sur un territoire pertinent vis-à-vis des risques d'inondation, stratégie qui permet de définir un programme d'actions et d'opérations à entreprendre. Les engagements pris dans les PAPI de troisième génération sont déclinés en sept axes :

- axe 1 : l'amélioration de la connaissance et de la conscience du risque ;
- axe 2 : la surveillance, la prévision des crues et des inondations ;
- axe 3 : l'alerte et la gestion de crise ;
- axe 4 : la prise en compte du risque inondation dans l'urbanisme ;
- axe 5 : les actions de réduction de la vulnérabilité des personnes et des biens (obligatoire) ;
- axe 6 : le ralentissement des écoulements ;
- axe 7 : la gestion des ouvrages de protection hydrauliques.

Le dispositif est destiné à tous les territoires à enjeux couverts par un PPR inondation, exposés aux inondations, quelle qu'en soit la nature (hors débordements de réseaux) et vise à assurer une prise en compte globale des différents aléas inondation auxquels peut être soumis le territoire.

Les projets de PAPI doivent s'efforcer de mobiliser l'ensemble des axes de la gestion des risques d'inondation, dans une gradation et un équilibre qui varient d'un territoire à l'autre. Les travaux dimensionnant sur des ouvrages de protection sont soumis à une analyse coût-bénéfice visant à évaluer la pertinence des travaux prévus, ou à une analyse multicritère pour les projets dont le montant est supérieur à 5 millions d'euros.

La démarche PAPI porte en premier lieu sur la gestion des risques d'inondation, tout en recherchant une cohérence avec les objectifs des autres politiques publiques mises en œuvre sur le territoire (aménagement du territoire et développement local, préservation des milieux naturels, du patrimoine culturel, qualité de l'eau...). Si le PAPI est porté par une collectivité locale, qui devrait être à terme une collectivité exerçant la compétence Gemapi, le portage des actions est assuré par les acteurs du territoire selon leur compétence (collectivités territoriales, services de l'État, particuliers, entreprises).

Au 1^{er} janvier 2018, 159 PAPI et projets d'endiguements hors PAPI ont ainsi été labellisés. Ils représentent un total de 1 846 M€ alloués à la prévention des inondations dont 751 M€ d'aide de l'État, principalement au titre du FPRNM. Environ 6,7 millions d'habitants (40 % de la population exposée au risque) et 3,8 millions

d'emplois (plus de 40 % des emplois exposés au risque) bénéficient de ces démarches de prévention. La masse la plus importante de dépense concerne les travaux sur les systèmes d'endiguement (50 %), qui, par nature, sont les plus coûteux. On observe toutefois, ces dernières années, qu'une part croissante des dépenses est consacrée au ralentissement des écoulements (axe 6) et à la mobilisation des fonctionnalités naturelles des milieux humides.

Il s'agit de démarches d'aménagement durable, dont l'inscription dans la durée se justifie, compte tenu des investissements envisagés et de la nécessité de disposer d'un programme partagé avec les différentes parties prenantes. La durée d'élaboration du PAPI est variable selon la maturité du territoire (un à trois ans). La convention-cadre PAPI s'étend au maximum sur six ans.

Encadré 13

L'élaboration du PAPI Brévenne-Turdine

Dans la continuité du travail engagé via le contrat de rivière, le programme d'action de prévention des inondations (PAPI) Brévenne-Turdine, labellisé en 2013, a eu pour volonté de privilégier les solutions fondées sur la nature et d'impacter le moins possible les milieux naturels. Le bassin ne comprenant pas de digue à l'origine, le choix a été fait de ne pas en construire. Le programme, ne comprenant pas d'ouvrages de protection (axe 7), est ainsi basé sur le principe d'accepter les débordements là où il n'y a pas d'enjeux et de revenir à un fonctionnement naturel des cours d'eau.

La stratégie choisie a en effet misé sur la prévention du risque auprès de la population : réalisation d'action de communication (vulgarisation du PPRI, organisation d'un salon tous les deux ans, plan familial de mise en sûreté, réalisation de diagnostics de vulnérabilité gratuits pour les habitants), sensibilisation des élus qui assurent ensuite un rôle de relais, mise en place du réseau « sentinelle » avec des habitants volontaires qui font remonter les informations ou alertes.

Ainsi, la vulnérabilité du territoire a diminué, mais c'est surtout la conscience du risque qui a beaucoup évolué. La concertation menée notamment avec les riverains et acteurs agricoles, dans une démarche d'ouverture et de discussion constructive et pas seulement informative, a été un facteur déterminant dans le choix des actions.

Le syndicat a fait appel à un cabinet de médiation et a pu compter sur une forte implication des maires, facilitant le lien avec les habitants. Des évolutions ont été apportées au programme : choix de deux ouvrages sur les cinq initiaux, baisse de l'impact sur le foncier, appui sur des matériaux naturels, sur-inondation de zones pour protéger l'aval, renforcement de l'action sur le ruissellement. La faisabilité des adaptations a ensuite été revérifiée.

La démarche exemplaire du PAPI pour les inondations est reproduite pour d'autres aléas tels que les cavités souterraines (non traitées dans ce rapport) et les risques en montagne.

Encadré 14

Les risques en montagne

Les risques en montagne présentent des caractéristiques géophysiques et socio-économiques spécifiques. La géographie de la montagne, de par la pente et le relief, conditionne fortement les phénomènes naturels. Les aléas en présence sont multiples (glissements de terrains, laves torrentielles, crues, avalanches...), soudains, rapides (cinétique plus élevée en montagne qu'en plaine) et souvent de forte intensité. Un même territoire est couramment concerné par plusieurs phénomènes. Les réflexions menées dans le cadre des Assises nationales des risques naturels en décembre 2013 ont conclu à la nécessité de territorialiser davantage la gestion des risques en montagne dans une approche multirisque, multi-acteur, collégiale et partenariale, avec l'État, les élus locaux, la société civile et l'ensemble des acteurs du territoire.

Dans ce contexte, l'État souhaite soutenir l'émergence et la mise en œuvre de projets concertés de prévention des aléas de montagne sur des périmètres cohérents par l'intermédiaire des stratégies territoriales pour la prévention des aléas de Montagne (STEPRIM). Un appel à projets a été ouvert en 2017 à l'ensemble des collectivités, groupements de collectivités ou autres structures d'intérêt public dont le périmètre de compétence est tout ou partie inclus dans les massifs montagneux français. Il avait pour objectif d'initier et d'encourager des démarches pilotes de gestion intégrée des risques naturels sur les territoires de montagne. Il s'agissait de définir une stratégie, déclinée en programme d'actions opérationnel, pour atteindre des objectifs en termes d'amélioration de la connaissance et de la conscience des risques, de prévision et de surveillance des risques, d'alerte et de gestion de crise, de prise en compte des risques dans l'urbanisme, de réduction de la vulnérabilité et de travaux de protection.

Des exemples de réalisation sont rapidement présentés dans les pages suivantes, démontrant que de telles réalisations sont possibles.

- *Des solutions urbanistiques et architecturales*

Construction sur pilotis à Saint-Pierre-des-Corps pour lutter contre les inondations :

Saint-Pierre-des-Corps a été lauréat du Grand Prix d'aménagement « Comment mieux bâtir en terrains inondables constructibles » lancé le 16 janvier 2015 par

le ministère en charge de l'environnement et du logement, et qui vise à promouvoir des projets d'aménagement innovants pour rendre les habitants moins vulnérables aux risques d'inondation.

À la confluence du Loir et du Cher, la commune est particulièrement exposée à l'aléa inondation, ce qui limite fortement son développement.

Pour relever ces défis, Saint-Pierre-des-Corps a décidé de miser sur l'innovation architecturale. L'originalité du projet est d'avoir conçu un quartier entièrement perché sur pilotis pour s'adapter au risque. Le projet a permis la construction de soixante-seize logements dont vingt logements sociaux sur un espace de 2 hectares dans une zone inondable à proximité du centre-ville. L'ensemble est constitué de maisons suspendues reliées entre elles par des coursives permettant de continuer à se déplacer en cas d'inondation, de jardins à la place des routes limitant l'artificialisation du terrain pour faciliter l'écoulement des eaux, et d'un bassin de rétention pour recueillir les eaux pluviales.

Gestion alternative des eaux à Rouen pour adapter les projets d'aménagement urbain au changement climatique :

De par sa situation géomorphologique, la ville de Rouen fait face à plusieurs événements extrêmes et qui auront de plus en plus d'impacts avec le changement climatique. Au niveau national, la Seine-Maritime est un département reconnu comme sensible au risque d'inondation. Située dans une cuvette, induisant de faibles vitesses de vents, la ville de Rouen est par ailleurs sujette au phénomène d'îlot de chaleur urbain associé aux fortes températures.

Pour relever ce double défi, le parti pris a été de mettre en place une gestion intégrée des eaux dans l'écoquartier de la zone d'aménagement concerté Luciline – Rives de Seine. Pour lutter contre les inondations, plusieurs solutions ont été trouvées afin d'assurer la fonctionnalité du quartier même en période de crue : ouvrages hydrauliques avec clapets antiretour contre les marées, construction de chambre de crues, surélévation des seuils, construction d'un réseau de noues s'appuyant sur une noue²¹ centrale paysagère de 5 mètres de large et 3 mètres de profondeur.

De même, la lutte contre l'îlot de chaleur urbain s'appuie également sur la gestion des eaux : la remise à jour partielle de la rivière Luciline via des canaux et les noues, le développement des toitures végétalisées et la mise en place d'un réseau de géothermie basse température à partir de la nappe d'eau d'accompagnement de la Seine, permettant de sécuriser les apports énergétiques pour le chauffage hivernal et le rafraîchissement estival des bâtiments de l'écoquartier.

21. Sorte de fossé herbeux qui remplit un rôle de zone-tampon pour les eaux de ruissellement.



Figure D14 – Maisons sur pilotis à Saint-Pierre-des-Corps

© Atelier Alain Gourdon.



Figure D15 – Rouen, Quartier Luciline – Rives de Seine

© Agence D&A.

Encadré 15

Le recul du trait de côte

Le recul du trait de côte est un phénomène naturel qui concerne environ 20 % du littoral français (hors Guyane), et ce chiffre pourrait être revu à la hausse avec les effets du changement climatique. Il est caractérisé par une cinétique lente et prévisible, qui, sauf exception, ne met donc pas en jeu des vies humaines, mais qui conduit à terme à la disparition définitive du terrain. En ce sens, le recul du trait de côte constitue un paramètre à prendre en compte pour l'aménagement des territoires littoraux à moyen et long termes.

Afin de disposer d'un état des lieux de l'évolution du trait de côte sur le littoral français, un indicateur national de l'érosion côtière a été produit par le Cerema²². La côte atlantique (notamment la Charente-Maritime et la Gironde) et la côte méditerranéenne (notamment le Gard et les Bouches-du-Rhône) sont particulièrement concernées. En outre-mer, le littoral de la Guyane fait partie des côtes les plus instables au monde mais n'a pas été traité dans cette étude (fig. D16).

Des études scientifiques sont menées pour mieux comprendre l'impact du changement climatique sur l'érosion du littoral.

Plusieurs propositions de loi posent depuis 2016 la question de l'adaptation des territoires littoraux au recul du trait de côte. Ces travaux parlementaires visent notamment à faciliter l'anticipation du phénomène sur ces territoires, en prévoyant des dispositions propres à la zone soumise au recul du trait de côte. Il faut trouver un équilibre entre la liberté des collectivités de faire vivre leurs territoires et l'obligation d'anticipation ainsi que la transformation du territoire qui en découle et la nécessité d'information des citoyens, suffisamment en amont. Cela suppose d'une part de pouvoir doter les collectivités d'outils d'urbanisme adaptés, le PPR n'étant vraisemblablement pas l'outil le plus adéquat pour le recul du trait de côte et d'autre part de disposer d'outils de financement permettant d'amorcer les démarches de transformation des territoires.

22. <http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/>

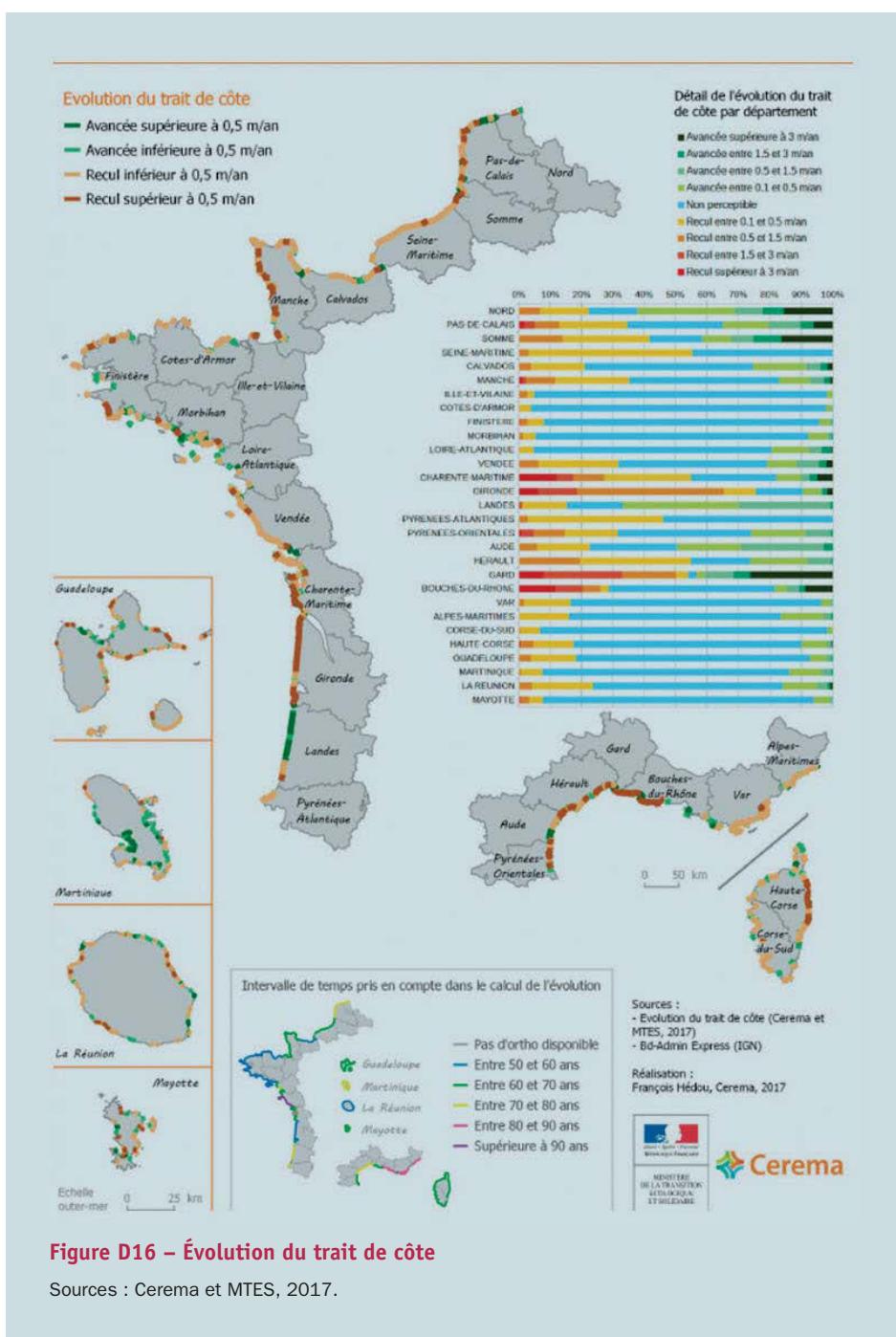


Figure D16 – Évolution du trait de côte

Sources : Cerema et MTES, 2017.

- **Une démarche prospective participative à Lacanau pour lutter contre le recul du trait de côte**

Confronté à un phénomène d'érosion marine qui menace une grande partie de son économie touristique, Lacanau a initié une réflexion sur la relocalisation dans le cadre de l'appel à projets national « Relocalisation des activités et des biens littoraux » lancé en 2012 par le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. Sous l'action des vagues et des tempêtes, la dune sur laquelle sont implantées les activités et les biens est maintenue par un ouvrage de défense. Au pied de celui-ci, la plage se rétrécit et s'abaisse. Au nord et au sud de l'ouvrage, les dunes naturelles reculent d'environ deux mètres par an en moyenne et ont reculé de 10 à 25 mètres selon les endroits lors des tempêtes de l'hiver 2013-2014.

Pour faire face à ces défis, la mairie de Lacanau et le GIP littoral Aquitain ont choisi d'engager une démarche prospective, permettant d'envisager plusieurs futurs possibles (stratégie de relocalisation ou stratégie de lutte active contre l'érosion) pour caractériser les enjeux d'adaptation au phénomène d'érosion et participative, s'appuyant sur un comité de concertation local constitué d'une trentaine de personnes, représentant les résidents, les associations environnementales, les acteurs économiques et institutionnels du territoire.



Figure D17 – Photographie extraite de l'Observatoire du littoral canaulais (vue aérienne sud-nord), prise dans le cadre de la Stratégie locale de gestion de la bande côtière 2016-2018 de Lacanau.

© Ville de Lacanau. Photographe : 1 Moment 1 Image Partenaires : Europe (Fonds FEDER), Région Nouvelle-Aquitaine, préfecture de Gironde (Fonds FNADT), GIP littoral aquitain.

Cette démarche a permis d'identifier une lacune majeure : l'absence d'outil pour gérer les biens menacés par l'érosion marine des côtes sableuses. L'étude de faisabilité n'a pas permis de trancher entre protection et relocalisation à l'échelle locale, mais elle a débouché sur la définition d'une stratégie locale de gestion du trait de côte par la mairie de Lacanau pour la période 2016-2018 prévoyant une série d'actions « sans regret » qui fonctionneront quelles que soient les décisions futures.

- *Des solutions fondées sur la nature*

Cyclones, tempêtes tropicales :

Restauration de la mangrove pour lutter contre les impacts des cyclones et des tempêtes tropicales.

L'urbanisation croissante du littoral a fortement dégradé les mangroves de Guadeloupe. Sur la zone industrielle de Jarry, 600 hectares ont été remplacés par des infrastructures urbaines depuis 1967. Or les mangroves jouent un rôle essentiel dans la conservation des littoraux tropicaux, en stabilisant le trait de côte et en diminuant l'énergie des vagues.



Figure D18 – Plants de palétuviers rouges à la pointe Jarry

Source : Replantation de palétuviers à la Pointe Jarry (Guadeloupe) – action réalisée dans le cadre de CAYOLI, programme de gestion des espaces naturels du Grand port maritime de Guadeloupe.

© 22 février 2018, Mariane Aimar, Caraïbes.

Pour faire face à ce défi, le Grand port maritime de Guadeloupe (GPMG) s'est engagé en 2016, avec le soutien de la CDC Biodiversité, dans un plan de restauration des mangroves, dans le cadre du programme environnemental Càyoli. Depuis, Coraïbes, prestataire en charge du projet, a créé deux pépinières de palétuviers et a initié, après plusieurs mois de culture, les premières transplantations en milieu naturel. Quarante plants de palétuviers rouges (*Rhizophora mangle*), sont désormais installés sur la pointe Sud de Jarry. Ainsi le littoral guadeloupéen bénéficiera à terme d'une meilleure protection face aux houles cycloniques et à l'érosion marine.

Conclusions

Réduire l'impact des catastrophes naturelles est un objectif qui fait bien sûr consensus. Face à des événements extrêmes qui pourraient, compte tenu du changement climatique, être plus fréquents et plus intenses, la politique de prévention est complémentaire de la politique d'adaptation. Il s'agit d'une politique de long terme, déjà mise en œuvre concrètement dans de nombreux territoires, mais qui doit se renforcer, de manière, notamment, à contribuer à la stabilité du régime d'indemnisation. Le maintien de la soutenabilité du dispositif CatNat dans le contexte du changement climatique passera par le renforcement des mesures de prévention, grâce à la mobilisation du FPRNM. D'autres leviers, comme une prise en charge différente des dommages liés au retrait-gonflement des argiles (qui ne fait pas de victimes), apporteraient une évolution favorable à l'équilibre du dispositif.

L'évaluation de la politique de prévention des risques est complexe, ne serait-ce qu'à cause du nombre des acteurs mobilisés, des moyens (humains et financiers) mis en œuvre difficiles à quantifier ou du fait d'indicateurs difficiles à définir ou à objectiver (comme ceux définis dans le cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophes). Les mesures de prévention mises en œuvre ont néanmoins largement porté leurs fruits lors les inondations survenues en janvier-février 2018 (étude menée par la CCR²³). Sur le bassin de la Seine, en amont de la confluence avec l'Oise, les pertes évitées se mesurent en dizaines de millions d'euros et représentent plus de 30 % des dommages assurés. Les mesures de prévention concernent les travaux réalisés en amont de Paris, sur les grands lacs réservoirs qui servent notamment à stocker de l'eau en cas d'épisode de crue pour limiter le débit en aval. Au-delà de l'action des lacs, des effets réels mais non quantifiables des dispositifs de prévention et de préparation à la crise ont participé à une réduction des coûts des inondations.

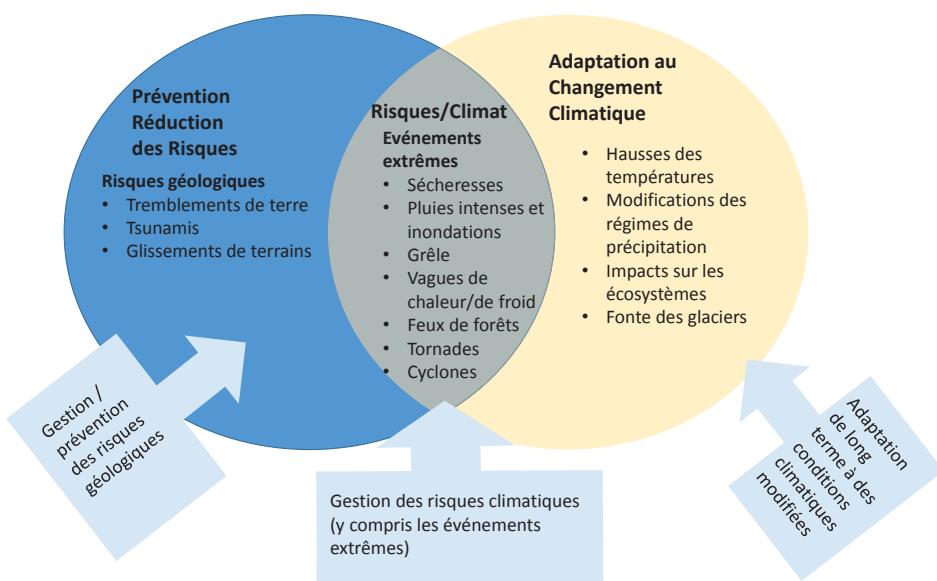
Mieux évaluer et faire connaître le coût des dommages provoqués par les aléas naturels constituent des leviers de prévention efficaces et qui permettent de limiter le recours au régime d'indemnisation national (dispositif CatNat). L'information préventive et la culture du risque sont pour cela des accélérateurs de projets, ils sont indispensables pour fédérer et mener à bien les choix d'aménagement du

23. <https://www.ccr.fr/-/retour-sur-les-inondations-de-janvier-et-fevrier-2018>, lien au 2 octobre 2018

territoire portés largement par les collectivités locales, autour de constats partagés. Des outils existent, qu'ils soient d'ordre stratégique, réglementaire ou financier pour engager une transformation des territoires les plus exposés dans le contexte du changement climatique.

Conclusion





Interactions entre les politiques de prévention des risques et d'adaptation au changement climatique

Source : ONERC, d'après Swiss NGO DDR Plateform.

PLACARD (PLAtform for Climate Adaptation and Risk reDuction) :
un projet de recherche européen pour renforcer les liens entre l'adaptation au changement climatique et la prévention des risques

PLACARD est un projet de recherche lancé en juin 2015 et financé dans le cadre du programme de recherche européen Horizon 2020 et coordonné par la Fondation de la faculté des sciences de l'université de Lisbonne. Ce projet a été conçu pour renforcer les liens entre les communautés de l'adaptation au changement climatique et de la réduction des risques de catastrophe aux niveaux international, européen, national et infranational afin de mettre en cohérence et d'améliorer la planification de leurs actions. PLACARD entend relever ce défi en fournissant un espace commun de dialogue et de partage d'expériences sous la forme d'un réseau opérationnel reliant les organisations et réseaux existants. Ce réseau englobant soutiendra le développement et la mise en œuvre d'un agenda de recherche et d'innovation pour améliorer l'utilisation des financements dédiés à la recherche, et pour développer des orientations à destination des institutions souhaitant s'attaquer aux enjeux de l'adaptation au changement climatique et de la prévention des risques de catastrophe. Les principaux attendus de ce projet sont :

- la création d'une plate-forme en ligne permettant d'organiser des consultations et de faciliter le dialogue entre différents groupes de parties prenantes;

- le développement de synergies et une plus grande coopération entre l'Union européenne, les États membres et les initiatives de l'adaptation au changement climatique et de la prévention des risques de catastrophes financées au niveau international ;
- un meilleur essaimage des activités de recherche et d'innovation dans les domaines de l'adaptation au changement climatique et de la prévention des risques de catastrophe ;
- l'amélioration de l'accès à l'information et à la connaissance dans ces domaines ;
- une assimilation accrue des enjeux de prospective sous-jacents ;
- une amélioration dans les domaines de la science, des politiques publiques, de la communication, de l'échange d'information et de connaissance.

Les événements passés et notamment les plus récents ont démontré la vulnérabilité de nos populations et territoires. La canicule de 2003 reste dans tous les esprits avec une surmortalité de plus de 15 000 personnes mais également avec un coût assurantiel qui a dépassé 1,8 milliard d'euros (actualisés 2017). Les plans canicule mis en place depuis ont très certainement pu réduire les coûts humains mais le scénario climatique le plus pessimiste (RCP8.5) montre qu'une canicule telle que celle de 2003 pourrait être un phénomène relativement banal à l'horizon 2100.

Si, pris de manière indépendante, aucun événement extrême ne peut être attribué en tant que tel au changement climatique, les travaux de recherche établissent que le changement climatique vient modifier l'occurrence ou l'intensité de certains aléas. Dans le domaine assurantiel, les résultats de modélisation du climat futur réalisée par Météo-France à l'aide de son modèle Arpège-Climat croisés avec les modèles d'aléa (inondation, sécheresse et submersion marine) et de dommages de la CCR permettent d'évaluer *in fine* la hausse attendue des pertes annuelles moyennes à l'horizon 2050 à 50 %.

L'augmentation de fréquence et d'intensité des aléas liés au système climatique, principalement les extrêmes hydrométéorologiques et l'apparition de nouveaux risques dus à l'évolution du climat, potentiellement nouveaux risques hydrométéorologiques, des catastrophes biologiques (par exemple ravageurs ou maladies vectorielles, non traités dans ce rapport) rendent encore plus nécessaire l'articulation qui lie les politiques de prévention et de gestion des risques naturels et d'adaptation au changement climatique. Dans les deux cas, il s'agit avant tout d'anticiper les phénomènes afin d'en limiter les conséquences et de tirer parti du retour d'expériences de la gestion de crise pour mieux reconstruire.

Les actions prévues dans le deuxième plan national d'adaptation au changement climatique permettront de minimiser les impacts attendus du changement

climatique, en renforcement des politiques déjà en place de prévention et de gestion des risques naturels majeurs et des risques sanitaires.

L'amélioration continue des connaissances permettra de préciser les impacts futurs du changement climatique. Les incertitudes actuelles ne doivent toutefois pas empêcher l'action pour se préparer, dès à présent, à une température moyenne mondiale de 2 °C supérieure à celle de l'ère pré-industrielle, qui correspond à l'objectif de long terme de l'Accord de Paris tout en continuant à faire le maximum pour ne pas dépasser 1,5 °C.

Bibliographie

- Ancey C., Bain V., (2015), "Dynamics of glide avalanches and snow gliding", *Re-views of Geophysics*, 53 (3). p. 745-784.
- Arnell G., Darnaud M. et Jasmin V., Rapport d'information fait au nom de la délégation sénatoriale aux outre-mer sur les risques naturels majeurs dans les outre-mer enregistré à la présidence du Sénat le 24 juillet 2018.
- Ballesteros-Cánovas J.A., Trappmann D., Madrigal-González J., Eckert N. et Stoffel M., (2018), "Climate warming enhances snow avalanche risk in the Western Himalayas", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115 (13), 3410-3415.
- Beaulant A.-L. et al., "Statistico-dynamical downscaling for Mediterranean heavy precipitation", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137.656 (2011): 736-748.
- Bel C., Liébault F., Navratil O., Eckert N., Bellot H., Fontaine F. et Laigle D., (2017), "Rainfall control of debris flow triggering in the Réal Torrent, Southern French Prealps", *Geomorphology*, 291, p. 17-32.
- Beniston et al., "The European mountain cryosphere: a review of its current state, trends, and future challenges", *Cryosphere*, 12.2 (2018): 759-794.
- Berti M., Martina. L.V., Franceschini S., Pignone S., Simoni A. et Pizziolo M., (2012), "Probabilistic rainfall thresholds for landslide occurrence using a Bayesian approach", *JGR*, 117, F04006. doi:10.1029/2012JF002367.
- Bertrand M., Liébault F. et Piégay H., (2013), "Debris flow susceptibility of upland catchments", *Nat. Hazards*, 67, p. 497-511.
- Blaikie P., Cannon T., Davis I. et Wisner B., (1994), *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disaster*, Routledge, London, 284 p.
- Blijenberg H.M., (1998), "Rolling Stones? Triggering and frequency of hill slope debris flows in the Bachelard Valley, Southern French Alps", PhD thesis, Utrecht University, 233 p.
- Blikra I.H, Nemec W., (1998), "Post glacial colluvium in western Norway, depositional processes, facies and paleoclimatic records", *Sedimentology*, 45, p. 909-954.
- Blöschl, Günter et al., "Changing climate shifts timing of European floods", *Science*, 357.6351 (2017) : 588-590.
- Boé J., Radojevic M., Bonnet R. et Dayon G., (2018), « Scénarios de sécheresse sur le bassin Seine-Normandie », CE-CI, université de Toulouse, CNRS, CERFACS, TR-CMGC-18-60, Toulouse, France, *Technical report*.
- Brochot S., Marchi L. et Lang M., (2002), « L'estimation des volumes des laves torrentielles : méthodes disponibles et application au torrent du Poucet (Savoie) », *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 61, p. 389-402.
- Bulletin épidémiologique hebdomadaire*, n° 16-17, « Comprendre et prévenir les impacts sanitaires de la chaleur dans un contexte de changement climatique ».

- Caine N., (1980), "The rainfall intensity: duration control of shallow landslides and debris Flows", *Geogr. Ann. A.*, 62, p. 23-33.
- Capitani M., Ribolini A. et Bini. M., (2013), "The slope aspect: A predisposing factor for landsliding", CRAS <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2013.11.002>
- Castebrunet H., Eckert N. et Giraud G., (2012), "Snow and weather climatic control on snow avalanche occurrence fluctuations over 50 yr in the French Alps", *Climate of the Past*, 8, p. 855-875.
- Castebrunet H., Eckert N., Giraud G., Durand Y. et Morin S., (2014), "Projected changes of snow conditions and avalanche activity in a warming climate: a case study in the French Alps over the 2020–2050 and 2070–2100 period", *The Cryosphere*, 8, p. 1673-1697.
- Chatry C., Le Quentrec M., Laurens D., Le Gallou J.-Y., Lafitte J.-J. et Creuchet B., 2010, Rapport de la mission interministérielle « Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts », CGAER, CGEDD, IGA.
- Cheng W., Wang N., Zhao M. et Zhao S., (2016), "Relative tectonics and debris flow hazards in the Beijing mountain area from DEM-derived geomorphic indices and drainage analysis", *Geomorphology*, 257, 15, p. 134-142.
- Cloppet E., Regimbeau M., (2009), « Estimation de l'impact du changement climatique dans le domaine de l'eau et des incendies de forêt », *Rapport d'étude final*, Météo-France.
- Colmet-Daage et al., "Evaluation of uncertainties in mean and extreme precipitation under climate change for north-western Mediterranean watersheds from high-resolution Med and Euro-CORDEX ensembles", *Hydrology and Earth System Sciences*, 2018, Vol. 22, n° 1, p. 673-687 (2018).
- Corona C., Lopez Saez J. Stoffel M., Rovéra G., Edouard J.-L. et Berger, F., (2013), "Seven centuries of avalanche activity at Echlap (Queyras massif, southern French Alps) as inferred from tree rings", *Holocene*, 23, Issue 2, p. 292-304.
- Corso M., Pascal M. et Wagner V., « Impacts de la chaleur et du froid sur la mortalité totale en France entre 2000 et 2010 », *Bull. Epidemiol. Hebd.*, 2017(31) : 634-40.
- Coussot P., (1994), « Rhéologie des laves torrentielles », *La Houille Blanche*, 3, p. 32-37.
- De Perthuis C., Hallegatte S., et Lecocq F., 2010, « Économie de l'adaptation au changement climatique », *Rapport du Conseil économique pour le développement durable*, 2010.
- Dayon G., « Évolution du cycle hydrologique continental en France au cours des prochaines décennies », diss. université Paul-Sabatier-Toulouse III, 2015.
- Dayon G., Boé J., Martin É., et Gailhard J., (2018), « Impacts of climate change on the hydrological cycle over France and associated uncertainties », *comptes rendus Geoscience*.
- Degache-Masperi A., « Adaptation au changement climatique en outre-mer et dans les Antilles, Recommandations d'approfondissement des actions du PNACC-2 »,

Rapport de stage, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique, juillet 2018.

Drobinski P. et al., « Scaling precipitation extremes with temperature in the Mediterranean: past climate assessment and projection in anthropogenic scenarios », *Climate Dynamics*, 51.3 (2018): 1237-1257.

Dumas P., Hallegatte S., Quintana-Seguí P. et Martin E., (2013), « The influence of climate change on flood risks in France-first estimates and uncertainty analysis », *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(3), 809-821.

Eckert N., Baya H. et Deschâtres M., (2010b), « Assessing the response of snow avalanche runout altitudes to climate fluctuations using hierarchical modeling: application to 61 winters of data in France », *Journal of Climate*, 23, p. 3157-3180.

Eckert N., Coleou C., Castebrunet H., Giraud G., Deschartres M. et Gaume J., (2010c), « Cross-comparison of meteorological and avalanche data for characterising avalanche cycles: the example of December 2008 in the eastern part of the French Alps », *Cold Regions Science and Technology*, Vol. 64, Issue 2, p. 119-136.

Eckert N., Keylock C.J., Castebrunet H., Lavigne A. et Naaim, M., (2013), « Temporal trends in avalanche activity in the French Alps and subregions: from occurrences and runout altitudes to unsteady return periods », *Journal of Glaciology*, Vol. 59, issue 213, p. 93-114.

Eckert N., Parent E., Kies R. et Baya H., (2010a), « A spatio-temporal modelling framework for assessing the fluctuations of avalanche occurrence resulting from climate change: application to 60 years of data in the northern French Alps », *Climatic Change*, Vol. 101, n° 3-4, p. 515-553.

Evans S.G., Clague J.J. (1994), « Recent climatic change and catastrophic geomorphic processes in mountain environments », *Geomorphology*, 10, p. 107-128.

Gasparini A., Guo Y., Hashizume M., Lavigne E., Zanobetti A., Schwartz J., et al., « Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: A multicountry observational study », *The Lancet*, 2015;386 (9991): 369-75.

Giacona F., Eckert N. et Martin B., (2017), « A 240-year history of avalanche risk in the Vosges Mountains based on non-conventional (re)sources », *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 17, p. 887-904.

GIEC, 2013, Climate Change 2013, « The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change », [Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V. and Midgley P.M. (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.

GIEC, 2014, Climate Change 2014, « Impacts, Adaptation, and Vulnerability », Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [Field C.B., Barros V.R., Dokken D.J., Mach K.J., Mastrandrea M.D., Bilir T.E., Chatterjee M., Ebi K.L., Estrada Y.O., Genova R.C., Girma B., Kissel E.S., Levy A.N., MacCracken S., Mastrandrea P. R., et White L.L. (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 p.

Grelier B., (2017), « Aléa climatique et régime hydrologique dans le bassin trans-national de la Meuse : co-variabilité, changements possibles et impact sur les débordements », diss., université de Lorraine, université de Liège.

Guzzetti F., Peruccacci S., Rossi M. et Stark C.P., (2008), “The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update”, *Landslides*, 5, p. 3-17.

Hanna E.G., Tait P.W., « Limitations to thermoregulation and acclimatization challenge human adaptation to global warming”, *International journal of environmental research and public health*, 2015;12(7): 8034-74.

Hauser M., Gudmundsson L., Orth R., Jézéquel A., Haustein K., Vautard R., van Oldenborgh G.J. et Senevirat-ne S.I., 2017, « Methods and model dependency of extreme event attribution: the 2015 European drought”, *Earth's future*, Vol. 5, n° 10, p. 1034-1043.

Helsen M.M., Koop P.J.M. et Van Steijn H., (2002), “Magnitude-frequency relationship for debris flows on the fan of the Chalance torrent, Valgaudemar (French Alps)”, *Earth Surf. Process. Landforms*, 27, p. 1299-1307.

Hungr O., (2005), “Classification and terminology”, in Jakob M., Hungr O. (Eds.), *Debris flow Hazards and Related Phenomena*, p. 9-23.

Hungr O., McDougall S. et Bovis, M. (2005), “Entrainment of material by debris flows”, in Jakob M., Hungr O. (Eds.), *Debris flow Hazards and Related Phenomena*, p. 135-158.

Iverson R., (1997), “The physics of debris flows”, *Reviews of Geophysics*, 35, p. 245-296.

Jézéquel A., Yiou P., Radanovics S. et Vautard, R., (2017), « Analysis of the exceptionally warm December 2015 in France using flow analogues”, *Bulletin of the American Meteorological Society*.

Jianzhong Y., Zhengwei H. et Fenqin H., (2013), “Researching the Relationship between Vegetation Cover Change and Debris Flow Activity Based on GIS and RS Res.”, *J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, 5, p. 2192-2195.

Johnson A., Rodine J.R. (1984), “Debris flow”, in *Slope instability*, Brunsden D., Prior D.B. (eds.), Wiley, p. 257-361.

Jomelli V., (2012), “Alpine debris flows”, *Science and Technology*, 4, 1, p. 162-164.

Jomelli V., (2013), “Lichenometric dating of debris avalanche deposits with an example from the French Alps”, in Schneuwly-Bollschweiler M., Stoffel M., Rudolf-Miklau F. (Eds.), *Dating Torrential Processes on Fans and Cones*, Springer, Netherlands, p. 211-224 http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-4336-6_14

Jomelli V., Brunstein D., Déqué M., Vrac M. et Grancher D., “2009: Impacts of future climatic change (2070-2099) on the potential occurrence of debris flows: a case study in the Massif des Ecrins (French Alps)”, *Climatic Change*, 97 (1-2) : 171-191.

Jomelli V., Chochillon C., Brunstein, D. et Pech. P., (2003), “Hillslope debris flows frequency since the beginning of the 20th century in the French Alps”, *Debris flow hazards mitigation*, Rickenmann & Chen (ed), Millpress Rotterdam, 127-137.

- Jomelli V., Pech P., Chochillon C. et Brunstein D., (2004), "Geomorphic variations of debris flows and recent climatic change in the French Alps", *Climatic Change*, 64, p. 77-102.
- Jomelli V., Brunstein D., Grancher D. et Pech, P., (2007), "Is the response of hill slope debris flows to recent climate change univocal? A case study in the Massif des Ecrins (French Alps)", *Climatic Change*, 85, p. 119-137.
- Jomelli V., Déqué M., Brunstein D. et Grancher D., (2007), "Probabilités d'occurrence des coulées de débris de versant dans les Alpes françaises au xx^e siècle estimées à partir des sorties du modèle Arpege", *Géomorphologie*, 93, p. 201-212.
- Jomelli V., Déqué M., Brunstein D. et Grancher D., (2009), "Impacts of future climate change (2070-2100) on debris flows occurrence: A case study in the Massif des Ecrins (French Alps)", *Climatic Change*, DOI 10.1007/s10584-009-9616-0.
- Jomelli V., Pavlova I., Utasse M., Chenet M., Grancher D., Brunstein D. et Leone F., (2011), "Are debris floods and debris avalanches responding univocally to recent climatic change: A case study in the French Alps", in *Climate change*, 1, Intech Blanco J.A. Kheradmand, H. (Eds) ISBN 978-953-307-419.
- Jomelli V., Pavlova I., Eckert N., Grancher D. et Brunstein D., (2015), "A new hierarchical Bayesian approach to analyse environmental and climatic influences on debris flow occurrence", *Geomorphology*, 250, p. 407-421.
- Kew S.F., Philip S.Y., van Oldenborgh G.J., Otto F.E.L., Vautard R., van der Schrier G. et Tebaldi C., (2018), "Attribution of the exceptional summer heat wave in Southern Europe 2017", *Bull. Am. Meteor. Soc.*
- Laaidi K., Zeghnoun A., Dousset B., Bretin P., Vandentorren S., Giraudet E., Beaudeau P., (2011), "The impact of heat islands on mortality in Paris during the August 2003 heat wave", *Environmental health Perspectives*, 120(2): 254-259.
- Lafaysse M., Hingray B., Mezghani A. et al., "Internal variability and model uncertainty components in future hydrometeorological projections: The Alpine Durance basin", *Water Resources Research*, 2014, Vol. 50, n° 4, p. 3317-3341.
- Laigle D., Marchi L. (2000), "Example of mud/debris flow hazard assessment, using numerical models", in Debris flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment. Proceedings of the Second International Conference on Debris flow Hazard Mitigation, Taipei (Taiwan), Edited by: Wieczorek, G.F. and Naeser, N.D., Balkema, Rotterdam, p. 417-424.
- Lassa J., (2017), "Towards Policy Integration of Disaster Risk, Climate Adaptation, and Development in ASEAN", *NTS Insight*, n° IN17-01, January 2017, IN17-01.
- Lavigne A., Eckert N., Bel L. et Parent, E., (2015), "Adding expert contribution to the spatio-temporal modeling of avalanche activity under different climatic influences", *Journal of the Royal Statistical Society C (Applied Statistics)*, 64, Part 4, p. 651-671.
- Lorente A., García-Ruiz J.M., Beguería S. et Arnáez J., (2002), "Factors Explaining the Spatial Distribution of Hillslope Debris Flows", *Mt. Res. Dev.*, 22, 32-39, doi:10.1659/0276-4741(2002)022[0032:FETSD0]2.0.CO;2
- Luu L., Vautard R., Yiou P., van Oldenborgh G.J., et Lenderink G., (2018), "Attribution of extreme rainfall events in the South of France using EURO-CORDEX simulations", *Geophys. Res. Lett.*, doi :10.1029/2018GL077807.

Magnan A., (2009), « La vulnérabilité des territoires littoraux au changement climatique : mise au point conceptuelle et facteurs d'influence », *Analyses*, Iddri, 01/2009.

Malet J.-P., Laigle D., Remaitre A. et Maquaire O., (2005), “Triggering conditions and mobility of debris flows associated to complex earthflows”, *Geomorphology*, 66, p. 215-235.

Malet J.-P., Thiery Y., Maquaire O. et Puissant A., (2006), “Landslide susceptibility, vulnerability and risk assessment through GIS procedures: a tentative application in the South French Alps”, *Rev. Int. Géomatique Eu.r J GIS Spat. Anal.*, 16, p. 499-525.

Marchi L., Arattano M. et Deganutti A.M., (2002), “Ten years of debris flow monitoring in the Moscardo Torrent (Italian Alps)”, *Geomorphology*, 46, 1-17. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X\(01\)00162-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00162-3).

Martin E., Giraud G., Lejeune Y., Boudart G., (2001), “Impact of climate change on avalanche hazard”, *Annals of Glaciology*, n° 32, p. 163-167.

Matthews J.A., Dahl S.O., Dresser P.Q., Berrisford M.S., Lie O., Nesje A., et Owen G., (2009), “Radiocarbon chronology of Holocene colluvial (debris flow) events at Sletthamn. Jotunheimen. southern Norway: a window on the changing frequency of extreme climatic events and their landscape impact”, *The Holocene*, 19, p. 1107-1129.

McCoy S.W., Kean J.W., Coe J.A., Tucker G.E., Staley D.M. et Wasklewicz T.A., (2012), “Sediment entrainment by debris flows: in situ measurements from the headwaters of a steep catchment”, *J. Geophys. Res.*, 117, <http://dx.doi.org/10.1029/2011JF002278>.

McVicar T.R., Roderick M.L., Donohue R.J., Li, L.T., Van Niel T.G., Thomas A., Grieser J., Jhajharia D., Himri Y., Mahowald N.M., Mescherskaya A.V., Kruger A.C., Rehman S., et Dinpashoh Y., “Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speeds: Implications for evaporation”, *Journal of Hydrology*, 416, 182-205, 2012.

Meunier M., (1991), « Éléments d'hydrologie torrentielle », Centre d'étude du machinisme agricole, Série *Études Montagnes*, 1, 176 p.

Moatty A., Gaillard J.-C. et Vinet F., (2017), « Du désastre au développement : les enjeux de la reconstruction post-catastrophe », *Annales de géographie*, 714, p. 169-194.

Moncoulon D., Labat D., Ardon J., Leblois E., Onfroy T., Poulard C., Aji S., Rémy A., et Quantin A., (2014), “Analysis of the French insurance market exposure to floods : a stochastic model combining river overflow and surface runoff”, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 2469-2485, <https://doi.org/10.5194/nhess-14-2469-2014>

Naaim M., Durand Y., Eckert N. et Chambon G., (2013), “Dense avalanche friction coefficients: influence of physical properties of snow”, *Journal of Glaciology*, Vol. 59, n° 216. p. 771-782.

Naaim M., Eckert N., Giraud G., Chambon G., Faug T., Naaim-Bouvet F. et Richard D., (2016), « Avalanches de neige humide : tendance et impacts attendus », *La Houille Blanche*, 8. p. 12-20.

- Naulin J.-P., Moncoulon D., Le Roy S., Pedreros R., Idier D. et Oliveros C., (2016), « Estimation of insurance-related losses resulting from coastal flooding in France », *Nat. Ha-zards Earth Syst. Sci.*, 16, 195-207, <https://doi.org/10.5194/nhess-16-195-2016>
- Navratil O., Liébault F., Bellot H., Travagliini E., Theule J., Chambon G., et Laigle D., (2013) “High-frequency monitoring of debris flow propagation along the Réal Torrent, Southern French Prealps”, *Geomorphology*, 201, p. 157-171.
- Négrel, P., Petelet-Giraud E., “Strontium isotopes as tracers of groundwater-induced floods: the Somme case study (France)”, *Journal of Hydrology*, 305.1-4 (2005): 99-119.
- Nieuwenhuijzen M.E, Van Steijn H. (1990), « Alpine debris flows and their sedimentary properties. A case study from the French Alps”, *Permafrost and Periglacial Processes*, 1, p. 111-128.
- ONERC, *Villes et adaptation au changement climatique*, Rapport au Premier ministre et au Parlement, Paris, La Documentation française, 2010, 158 p.
- ONERC, *Le littoral dans le contexte du changement climatique*, Rapport au Premier ministre et au Parlement, Paris, La Documentation française, 2015.
- ONERC, *Adaptation au changement climatique, évaluation de la démarche nationale et recommandations*, Rapport au Premier ministre et au Parlement, Paris, La Documentation française, 2016, 188 p.
- Ouzeau G., Déqué M., Jouini M., Planton S., Vautard R. et Vrac M., (2014), « Scénarios régionalisés », *Le climat de la France au xx^e siècle*, volume 4, Rapport de la mission Jean Jouzel, ministère de l’Énergie, du Développement durable et de l’énergie, 63 p.
- Ouzeau G., Soubeyroux J.-M., Schneider M., Vautard R. et Planton S., (2016), “Heat waves analysis over France in present and future climate: application of a new method on the Euro-CORDEX ensemble”, *Climate Services*, 4, 1-12, DOI : 10.1016/j.cliser.2016.09.002.
- Paprotny et al., “Trends in flood losses in Europe over the past 150 years”, *Nature communications*, 9.1, (2018) : 1985.
- Pascal M. J., Fouillet A., Lapostolle A., Empereur-Bissonnet P. et Pouey, J., « Principaux enseignements de la surveillance sanitaire des impacts des vagues de chaleur de 2015 à 2017 en France », *Bull. Epidemiol. Hebd.*, 2017, 13-17 : 326 : 33.
- Pascal M., Retel O., Laaidi K., Ung A. et Wagner V., « Impact des vagues de chaleur sur les recours aux soins : une revue de la littérature », *Bull. Epidemiol. Hebd.*, 2013, (28-29) : 341-7.
- Pascal M., Wagner V., Le Tertre A., Laaidi K., Honore C., Benichou F. et al., “Definition of temperature thresholds: the example of the French heat wave warning system”, *International journal of biometeorology*, 2013; 57(1) : 21-9.
- Pavlova I., Jomelli V., Brunstein D., Grancher D. et Vrac M., (2012), “Debris flow triggering meteorological conditions in the northern french Alps”, *Ice and Snow*, 117, p. 105-109, (in Russian).

Pavlova I., Jomelli V., Brunstein D., Grancher D., Martin E. et Déqué M., (2014), “Debris flow activity related to recent climate conditions in the French Alps: a regional investigation”, *Geomorphology*, 219, p. 248-259.

Pavlova I., Jomelli V., Grancher D., Brunstein D. et Vrac M., (2011), “Debris flow occurrence and meteorological factors in the French Alps: a regional investigation”, *Debris flow hazards mitigation*, Genevois, Hamilton & Prestininzi (ed.), La sapienza, p. 127-135.

Pech P., Jomelli V., (2001), « Rôle du cône apical dans le déclenchement des coulées de débris alpines du massif du Dévoluy, Hautes-Alpes, France », *Géogr. Phys. Quat.*, 1, p. 47-61.

Peruccacci S., Brunetti M.T., Luciani S., Vennari C. et Guzzetti F., (2012), “Lithological and seasonal control on rainfall thresholds for the possible initiation of landslides in Central Italy”, *Geomorphology*, 140, p. 79-90.

Planton S., Bopp L., Brun E., Cattiaux J., Chauvin F., Chevallier M., Ciais P., Douville H., Giraud G., Soubeyroux J.-M. et Terray L., (2015), « Évolution du climat depuis 1850 », *La Météorologie*, n° 88, p. 48-55.

Poumadère M., Mays C., Le Mer S. et Blong R., (2005), “The 2003 heat wave in France: dangerous climate change here and now”, *Risk Analysis*, 25, 1483-1494.

Puissant A., Van Den Eeckhaut M., Malet J.-P. et Maquaire O., (2014), “Landslide consequence analysis: a region-scale indicator-based methodology”, *Landslides*, 11, p. 843-858.

Remaitre A., Maquaire O., et Malet J.-P., (2005), “Morphology and sedimentology of a complex debris flow in clay-shales basin”, *Earth Surf. Proc. Land.*, 30, p. 339-348.

Remaitre A. van Asch T.W., Malet J.-P. et Maquaire O. (2008), “Influence of check dams on debris flow run-out intensity”, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, p. 1403-1416.

Ribes, A., Thao S., Vautard R., Dubuisson B., Somot S., Colin J., Planton S. et Soubeyroux J.-M., (2018), “Observed increase in extreme daily rainfall in the French Mediterranean”, *Climate Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4179-2>

Savi S., Schildgen T.F., Tofelde S., Wittmann H., Scherler D., Mey J., Alonso R.N. et Strecker M. R., (2016), “Climatic controls on debris flow activity and sediment aggradation: The Del Medio fan. NW Argentina”, *JGR* 2016, DOI : 10.1002/2016JF003912.

Schneider M., Dandin P., (2012), « La vague de froid de février 2012 », *La Météorologie*, 76, 7-8.

Schwab M., Meinke I., Vanderlinden J.-P. et von Stroch H., (2017), “Regional decision-makers as potential users of extreme weather event attribution – case studies from the German Baltic Sea coast and the Greater Paris area”, *Weather and Climate Extreme*, 18, 1-7.

Statham I., (1976), “Debris flows on vegetated screes in the Black Mountain, Ecarmarthenshire”, *Earth Surface Processes and Landforms*, 1, p. 173-180.

Stoffel M., Huggel C., (2012), “Effects of climate change on mass movements in mountain environments”, *Progress in physical geography*, 36(3), 421-439.

- Stoffel M., Lievre I., Conus D., Grichting M.A., Raetzo H., Gartner H.W. et Monbaron M., (2005), “400 years of debris flow activity and triggering weather conditions: Ritigraben, Valais, Switzerland”, *Arctic Antarctic and Alpine Research*, 37, p. 387-395.
- Strunk H. (1992), “Reconstructing debris flow frequency in the southern Alps back AD 1500 using dendrogeomorphological analysis”, *Erosion, Debris flow and Environment in Mountain Regions*, Proceedings of the Chengdu Symposium, IAHS publ., 209, p. 299-306.
- Soubeyroux, J.-M., Kitova N., Blanchard M., Vidal J.-P., Martin E. et Dandin P., (2012), « Sécheresse des sols en France et changement climatique », *La Météorologie*, 78 : 21-30.
- Soubeyroux J.-M., Neppel L., Veysseire J.-M., Tramblay Y., Carreau J. et Gouget V., (2015), « Évolution des précipitations extrêmes en France en contexte de changement climatique », *La Houille Blanche*, (1), 27-33, ISSN 0018-6368.
- Soubeyroux J.-M., Ouzeau G., Schneider M., Cabanes O. et Kounkou R., (2016), « Les vagues de chaleur en France : analyse de l’été 2015 et évolutions attendues en climat futur », *La Météorologie*, 94, 45-51.
- Soubeyroux J.-M., Richon J., Schneider M., Lassegues P. et Dosnon F., (2018), « Caractérisation à haute résolution spatiale des tempêtes historiques en Métropole : application à la tempête Zeus du 6 mars 2017 », *Journal de l’Association internationale de climatologie*.
- Stott P., Christidis N., Otto F., Sun Y., Vanderlinden J.-P., van Oldenborgh, G.J. et Zwiers F., (2016), “Attribution of extreme climate events”, *WIREs Climatic Change*, 7(1), 23-41.
- Stott P.A., Stone D.A., Allen M.R., “Human contribution to the European heatwave of 2003”, *Nature*, 2004, <http://dx.doi.org/10.1038/nature03089>.
- Theule J.I., Liébault F., Laigle D., Loyer A., et Jaboyedoff M., (2015), “Channel scour and fill by debris flows and bedload transport”, *Geomorphology*, 243, p. 92-105.
- Theule J.I., Liébault F., Loyer A., Laigle D. et Jaboyedoff M., (2012), “Sediment budget monitoring of debris flow and bedload transport in the Manival Torrent, SE France”, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, p. 731-749.
- Thiery Y., Malet J.-P., Sterlacchini S., Puissant A. et Maquaire O., (2007), “Landslide susceptibility assessment by bivariate methods at large scales: application to a complex mountainous environment”, *Geomorphology*, 92, p. 38-59.
- Touili N., Vanderlinden J.-P., (2017), “Flexibilité adaptative et gestion du risque : étude de cas des inondations dans l'estuaire de la Gironde (France)”, *VertigO*, 17(2).
- Turkington T., Remaitre A., Ettema J., Hussin H., et Van Western C., (2016), “Assessing debris flow activity in a changing climate”, *Climate change*, DOI 10.1007/s10584-016-1657-6.
- Utasse M., Jomelli V., Leone F. et Grancher D., (2016), “Institutional and functional vulnerability assessment related to impacts of debris flows on roads in the French Alps”, *International Journal of Disaster Risk Science*, 7, p. 186-197.
- Van Steijn H., (1991), “Frequency of hill slope debris flows in part of the French Alps”, *Bulletin of Geomorphology*, 19, p. 83-90.

- Van Steijn H., (1996), “Debris flow magnitude-frequency relationships for mountainous regions of central and Northwest Europe”, *Geomorphology*, 15, p. 259-273.
- Van Steijn H., De Ruig J. et Hoozemans F., (1988), “Morphological and mechanical aspects of debris flows in parts of the French Alps”, *Zeitschrift für Geomorphologie*, 32, p. 143-161.
- Vanderlinden J.-P., Baztan J., Touili N., Kane I.O., Rulleau B., Simal P.D., Zagonari F., (2017), “Coastal Flooding, Uncertainty and Climate Change: Science as a Solution to (mis) Perceptions? – A qualitative enquiry in three European coastal settings”, *Journal of Coastal Research*, SI77, 127-133.
- Vanderlinden J.-P., Meinke I., Capelini N., Winter C., Schwab M., Touili N., Von Storch H., (2015), “Theoretical working paper: social articulation of extreme event attribution. EUCLEIA Deliverable 4.1. Guyancourt: UVSQ (as part of the EUCLEIA Consortium)”.
- Vautard R., Cattiaux J., Yiou P., Thepaut J.N. et Ciais P., “Northern Hemisphere atmospheric stilling partly attributed to an increase in surface roughness”, *Nature Geoscience*, 3, 756-761, 2010.
- Vautard, R., van Oldenborgh G.J., Thao S., Dubuisson B., Lenderink G., Ribes A., Planton S., Soubeyroux J.-M. et Yiou P., (2015), “Extreme fall precipitations in the Cévennes mountains”, *Bull. Am. Meteorol. Soc. Suppl. On “explaining extreme events of 2014 from a climate perspective”*, 96, S56-S60.
- Verfaillie D., Lafaysse M., Déqué M., Eckert N., Lejeune Y. et Morin S., (2018), “Multi-component ensembles of future meteorological and natural snow conditions for 1500 m altitude in the Chartreuse mountain range, Northern French Alps”, *The Cryosphere*, 12(4), 1249-1271.
- Veyrat-Charvillon S., Meunier M., (2006), “Stereophotogrammetry of archive data and topographic approaches to debris flow torrent measurements: calculation of channel-sediment states and a partial sediment budget for Manival torrent (Isère, France)”, *Earth Surface Processes and Landforms*, 31, p. 201-219.
- Wever N., “Quantifying trends in surface roughness and the effect on surface wind speed observations”, *Journal of Geophysical Research : Atmospheres*, 117(D11), 2012
- Wieczorek G.F., Glade T., (2005), “Climatic factors influencing occurrence of debris flows”, in Jakob M., Hungr O. (Eds.), *Debris Flow Hazards and Related Phenomena*, p. 325-362.
- Wilhite D.A., Glantz, M.H., (1985), “Understanding the drought phenomenon: The role of definitions”, *Water International*, 10(3), 111-120.

Rapport d'activité de l'Observatoire

Créé par la loi du 19 février 2001, l'ONERC matérialise la volonté du Parlement et du gouvernement d'intégrer les effets du changement climatique dans les politiques publiques environnementales en France métropolitaine et d'outre-mer. L'ONERC est rattaché au ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES) via le Service climat et efficacité énergétique de la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC).

L'orientation de l'action de l'ONERC est assurée depuis 2017 (décret n° 2017-211 du 20 février 2017) par une commission spécialisée dédiée du Conseil national de la transition écologique présidée par M. Ronan Dantec, sénateur de Loire-Atlantique (arrêté du 14 avril 2017). L'ONERC est dirigé par M. Laurent Michel, directeur général de l'énergie et du climat. Le secrétariat général est assuré par M. Éric Brun assisté de cinq chargés de mission, dont une adjointe au secrétaire général et un ingénieur documentaire-webmestre, appuyés sur la quasi-totalité de la période par trois chargés de mission dont un entièrement dédié à l'accueil par la France de la 47^e réunion plénière du GIEC. Au sein du Service climat et efficacité énergétique, l'ONERC constitue le « pôle Adaptation au changement climatique » de la DGEC, en charge du pilotage et la mise en œuvre de la politique nationale d'adaptation. Il assure également la fonction de point focal de la France au sein du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Cette annexe, sans être exhaustive, présente les principales actions de l'ONERC entre octobre 2017 et septembre 2018.

Action internationale

Du fait de l'accueil par la France de la 47^e réunion plénière du GIEC qui s'est tenue du 13 au 16 mars 2018 au siège de l'Unesco à Paris, la fonction de point focal du GIEC pour la France a occupé une large part des activités internationales de l'observatoire en 2017 et 2018. En outre, l'ONERC a poursuivi sa participation régulière aux autres travaux internationaux notamment au niveau de l'Union européenne et de la CCNUCC et a développé des relations multilatérales et bilatérales avec les services en charge des politiques publiques d'adaptation dans plusieurs pays.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)

En septembre 2017, la France a proposé d'accueillir la 47^e réunion plénière du GIEC répondant ainsi à l'un des objectifs annoncés dans le Plan climat du gouvernement, publié le 6 juillet 2017.

La tenue à Paris de cette réunion, quelques mois après le *One Planet Summit* et le lancement de l'initiative *Make Our Planet Great Again* témoigne de l'engagement constant de la France sur les questions climatiques et marque son appui résolu aux travaux du GIEC.



Célébration des trente ans du GIEC

Avec comme programme de travail essentiel de renforcer de façon pérenne la situation financière du GIEC, cette 47^e plénière a pleinement réalisé son principal objectif. Lors de la journée de célébration en l'honneur des trente années d'existence du GIEC, le ministre d'État, ministre de la Transition écologique et solidaire et le ministre de l'Europe et des Affaires étrangères ont ainsi rappelé l'augmentation significative de la contribution de leurs deux ministères auprès du GIEC à hauteur de 1 million d'euros par an jusqu'à la publication du sixième rapport d'évaluation en 2022. Cette annonce concrétise l'engagement du Président de la République pris lors de la COP 23 et confirmé lors du One Planet Summit.

Pour accompagner cet événement, une nouvelle édition du livret « Mieux comprendre le GIEC » a été élaborée avec l'appui de la direction de la communication (DICOM) du MTES. Cette brochure fait le point sur ce qu'est le GIEC, comment il fonctionne et ce qu'il produit. Un numéro spécial de la lettre aux élus pour les trente ans du GIEC a également été diffusé à cette occasion. Cette étroite collaboration avec la DICOM a aussi permis de réaliser une courte animation vidéo sur trente ans de travaux du GIEC.

Ces supports de communication ont été largement diffusés sur les réseaux sociaux et sur le Web. L'événement a fait l'objet d'une couverture médiatique conséquente, aussi bien dans la presse généraliste que spécialisée.

Le GIEC est engagé dans son sixième cycle d'évaluation visant à produire le sixième rapport d'évaluation (AR6), trois rapports spéciaux et une mise à jour du rapport méthodologique pour les inventaires d'émissions de gaz à effet de serre.



Animation vidéo sur trente ans de travaux du GIEC

MIEUX
COMPRENDRE LE

GIEC

GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL
SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT

LE GIEC,
C'EST QUOI?

LE GIEC,
COMMENT
ÇA MARCHE?

Depuis 30 ans, le GIEC évalue l'état des connaissances sur l'évolution du climat, ses causes, ses impacts. Il identifie également les possibilités de limiter l'ampleur du réchauffement et la gravité de ses impacts et de s'adapter aux changements attendus.

p.2 Présentation p.4 Historique p.6 Fonctionnement p.10 Publications

Livret « Mieux comprendre le GIEC »

- **Réunions plénieress et du bureau du GIEC**

En coordination avec les ministères en charge de la recherche et des affaires étrangères, l'ONERC, en tant que point focal du GIEC pour la France, assure la représentation permanente de la France au sein des organes de gouvernance du GIEC.

Sur la période couverte par ce rapport, l'ONERC a ainsi participé à la 47^e réunion plénière, qu'il a organisée à Paris, ainsi qu'à la 55^e réunion du bureau du GIEC en appui de Valérie Masson-Delmotte, représentante française au bureau, coprésidente du groupe de travail 1.

Encadré 1

« Trente ans du GIEC et sixième cycle d'évaluation »

Depuis trente ans, le GIEC évalue l'état des connaissances sur l'évolution du climat, ses causes, ses impacts. Il identifie également les possibilités de limiter l'ampleur du réchauffement et la gravité de ses impacts et de s'adapter aux changements attendus. Les rapports du GIEC fournissent un état des lieux régulier des connaissances les plus avancées. Cette production scientifique est au cœur des négociations internationales sur le climat. Elle est aussi fondamentale pour alerter les décideurs et la société civile.

La liaison permanente entre le GIEC et les États est assurée par un point focal national. En France, cette fonction est exercée par l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC), depuis 2001.

La publication des trois volumes (sciences du climat, atténuation, adaptation) du 6^e rapport d'évaluation est programmée pour l'année 2021. Le rapport de synthèse paraîtra au cours du premier semestre 2022.

Trois rapports spéciaux seront aussi produits au cours de ce sixième cycle :

- en octobre 2018, un premier rapport spécial sur l'impact d'un réchauffement global de 1,5°C au-dessus des niveaux pré-industriels et sur les trajectoires d'émission de gaz à effet de serre correspondantes ;
- en août 2019, un deuxième rapport spécial sur les liens entre le changement climatique, la désertification, la dégradation des terres, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire, et les flux de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres ;
- en septembre 2019, un troisième rapport spécial sur les liens entre le changement climatique, les océans et la cryosphère.

En mai 2019, sera aussi produit un raffinement du rapport méthodologique sur les inventaires nationaux d'émissions de gaz à effet de serre datant de 2006.

● Sixième cycle du GIEC en France

Sur la période octobre 2017 – septembre 2018, l'appel à candidatures pour la nomination par la France des auteurs et des éditeurs de revue des volumes 1, 2 et 3 du sixième Rapport d'évaluation du GIEC a été préparé et largement diffusé par le point focal français du GIEC en coordination avec le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI) et le ministère de l'Europe et des Affaires étrangères (MEAE). Cet appel a permis à plus de 80 scientifiques français ou travaillant en France de candidater. Les nominations soumises par la France ont ensuite fait l'objet d'une sélection par le comité scientifique de pilotage mis en place par le bureau du GIEC pour chacun des rapports.

Au total, trente-neuf scientifiques nominés par la France ont été sélectionnés pour participer à l'élaboration du sixième rapport d'évaluation du GIEC, aux trois rapports spéciaux et au raffinement du guide méthodologique pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, en tant que coordinateurs, auteurs principaux ou éditeurs réviseurs.

En tant que point focal français du GIEC, l'ONERC a organisé, en coordination avec le MEAE et le MESRI, plusieurs revues des rapports spéciaux en cours d'élaboration par le GIEC : deux revues du rapport spécial sur l'impact d'un réchauffement global de 1,5 °C au-dessus des niveaux pré-industriels et sur les trajectoires d'émission de gaz à effet de serre et une revue du raffinement du rapport méthodologique sur les inventaires nationaux d'émissions de gaz à effet de serre.

Sur la période du sixième cycle du GIEC, le financement de l'Unité d'appui technique (en anglais *Technical Support Unit – TSU*) du Groupe de travail I du GIEC est assuré par la France. Le suivi du financement et des activités de cette TSU sont assurés par l'ONERC et des services du MESRI et du MEAE. L'ONERC a de plus coordonné le versement de la contribution française 2018 au budget central de fonctionnement du GIEC.

Enfin, l'ONERC appuie la participation des chercheurs français aux travaux du GIEC en prenant en charge une partie des frais de missions des centaines d'experts.

Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC)

Sous la coordination de la Direction des affaires européennes et internationales (DAEI) du MTES, l'ONERC a participé, au sein de la délégation française, à la 23^e session de la Conférence des parties à la CCNUCC (COP 23) ayant eu lieu à l'automne 2017 et à l'intersession de Bonn au printemps 2018. L'ONERC a assuré avec le Département de la lutte contre l'effet de serre (DGEC/SCEE) une fonction d'appui scientifique et technique au sein de l'équipe de négociations climatiques pour les aspects relatifs aux sciences climatiques et aux politiques publiques d'adaptation.

Un agent de l'ONERC (élu à la COP 22) siège désormais aux réunions du Comité de l'adaptation mis en place par la CCNUCC afin d'examiner l'ensemble des travaux relatifs à ce sujet dans le cadre des négociations climatiques mondiales.

Dans le cadre de l'appui aux négociations climatiques mondiales, l'ONERC participe également, avec le DLCES, au groupe informel d'experts européens consacré aux sujets scientifiques ayant pour objectif de construire une vision commune sur ces sujets au sein des États membres de l'Union européenne.

Espace européen

Représentant la DGEC, l'ONERC siège pour la France au sein du groupe de travail mis en place par la Direction générale climat de la Commission européenne pour le suivi de la stratégie européenne d'adaptation adoptée en 2013 dont le processus de révision a été engagé début 2017. Dans ce cadre, l'ONERC met à jour annuellement les informations concernant la politique et les actions d'adaptation en France diffusées par la plate-forme d'échange Climate-ADAPT¹ en coordination avec l'Agence européenne de l'environnement (AEE).

L'ONERC a par ailleurs organisé la 26^e réunion du groupe d'information sur l'adaptation au changement climatique du réseau d'agences européennes de protection de l'environnement (*meeting of the Information Group on Climate Change Adaptation of the Network of European Environmental Protection Agencies, IG CCA EPA*).

Cette réunion, qui s'est déroulée les 5 et 6 avril à La Défense, a réuni une vingtaine d'experts, de chefs ou de directeurs de ces organismes. Ces deux journées ont permis de nombreux échanges d'expériences sur des questions d'intérêt commun aux organisations impliquées dans la mise en œuvre pratique de la politique environnementale de l'adaptation. Une intervention de Santé publique France a éclairé les participants sur la politique française de gestion des canicules et vagues de chaleur.

Sous la coordination du CGDD/SOeS du MTES, l'ONERC fait partie du groupe de travail fédéré dans le réseau Eionet rassemblant les correspondants de l'AEE intéressés par les problématiques d'observation des effets du changement climatique et de l'adaptation. À ce titre, l'ONERC a contribué au rapport technique sur le suivi, le rapportage et l'évaluation des politiques nationales d'adaptation en Europe notamment au travers d'un encadré sur la politique française d'adaptation.

L'Observatoire pyrénéen du changement climatique a invité l'ONERC à faire partie de son comité de pilotage. La première réunion a eu lieu à Biarritz le 9 novembre en marge du deuxième colloque international sur le changement climatique dans des zones de montagne, PYRADAPT 2017.

1. <http://climate-adapt.eea.europa.eu/>

Dans le cadre de travaux d'évaluation de la stratégie de l'Union européenne relative à l'adaptation au changement climatique, l'ONERC a été sollicité à de nombreuses reprises. L'ONERC a ainsi rempli et fait circuler la Fiche pays pour la France, fiche décrivant la politique d'adaptation au changement climatique. L'ONERC a également initié la réponse au questionnaire de consultation publique relative à l'évaluation de la stratégie de l'Union européenne relative à l'adaptation au changement climatique publié du 8 décembre 2017 au 1^{er} mars 2018.

Initiatives multilatérales et bilatérales

Dans le cadre du *cluster francophone* du Partenariat sur la transparence de l'accord de Paris (PATPA), l'ONERC est intervenu pour présenter la démarche française et a co-animé deux ateliers thématiques sur l'adaptation au changement climatique à Douala (Cameroun) en mai 2018. Vingt et un pays africains francophones étaient représentés.

Dans le prolongement de la contribution de l'ONERC à la septième communication nationale de la France à la CCNUCC, l'observatoire a présenté l'action de la France en matière d'adaptation et de recherche aux experts de la CCNUCC venus auditer les acteurs français en avril 2018.

L'ONERC a été nommé au Conseil pour le climat de la Convention alpine, créé en septembre 2016 afin de regrouper les initiatives et les contributions sur le changement climatique existant dans les Alpes et d'avancer des propositions pour l'établissement d'un système concret d'objectifs de la Convention alpine dans la perspective d'un « espace alpin climatiquement neutre », en accord avec les objectifs européens et internationaux.

Dans une logique de collaboration transfrontalière, l'ONERC a eu l'occasion de participer à plusieurs échanges bilatéraux formels et informels avec ses homologues de la plupart des pays voisins de la France métropolitaine (groupe Science, IG CCA, Convention Alpine, etc.) ainsi que quelques pays plus éloignés afin de partager les idées et les pratiques en matière d'adaptation au changement climatique.

Politique d'adaptation au changement climatique

- 30 novembre 2017 : adoption du projet d'avis sur le PNACC-2 par la Commission spécialisée du CNTE chargée de l'orientation de l'ONERC ;
- 21 décembre 2017 : avis très favorable au PNACC-2 adopté à la quasi-unanimité par le CNTE ;
- 1^{er} semestre 2018 : finalisation du PNACC-2.

Information, formation et communication

L'ONERC assure ses missions d'information et de communication en étroite collaboration avec la Direction de la communication (DiCom) du MTES. Ces actions visent tous les publics par l'intermédiaire de différents supports dont certains sont présentés ci-après. L'ONERC apporte son soutien en matière de réalisation de supports d'information sur l'adaptation au changement climatique pour différents organismes (services déconcentrés du MTES, administrations centrales y compris hors MTES, communication interne au MTES, établissements publics, organisations non-gouvernementales, presse, associations).

● Site Web

La diffusion sur le site Web du ministère de la Transition écologique et solidaire des informations présentées par l'ONERC permet à tous les publics d'appréhender les enjeux liés au changement climatique au travers des pages sur les impacts, la connaissance, la démarche d'adaptation, les publications et des bases de données.

Ainsi, aux informations concernant l'Observatoire s'ajoutent les pages dédiées aux indicateurs du changement climatique. De plus, la démarche d'adaptation au changement climatique, engagée aux niveaux national, européen et international est présentée selon ces trois axes. Enfin, l'information sur le GIEC permet de mieux comprendre son fonctionnement et de consulter et de suivre ses travaux.

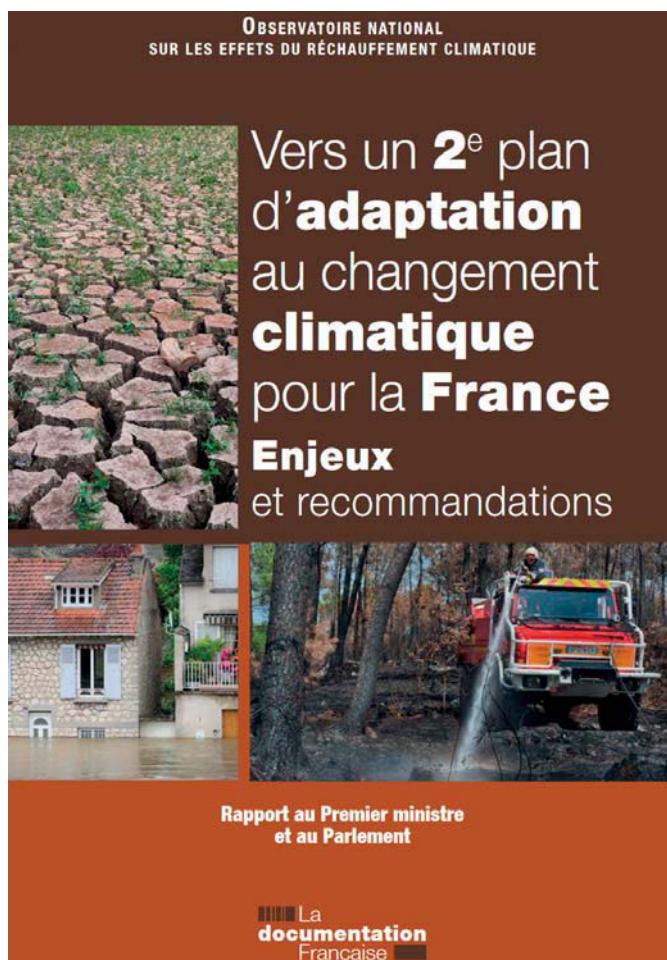
Le contenu des pages est régulièrement mis à jour ainsi que leur présentation afin de s'adapter aux nouveaux standards de communication et de faciliter l'accès à l'information.

The screenshot shows the homepage of the ONERC website. At the top, there is a header with the logo of the Ministry of Ecological Transition and the text "Ministère de la Transition écologique et solidaire". Below the header, there is a navigation bar with links for "Actualités", "Politiques publiques", and "Ministère". On the right side of the header, there are social media icons for YouTube, LinkedIn, and RSS feed, along with a search icon. The main content area features a large title "Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique – ONERC". Above the title, there is a breadcrumb navigation: "Accueil > Politiques publiques / de A à Z > Climat > Comprendre le changement climatique > Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique – ONERC". Below the title, there is a paragraph of text about the ONERC's mission to collect and disseminate information on climate risks, formulate recommendations for adaptation measures, and collaborate with the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). At the bottom left, there is a sidebar with links to various sections of the website, including "Présentation de l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC)", "Missions de l'ONERC", "Impacts du changement climatique", "S'adapter au changement climatique", "Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat - GIEC", "Publications de l'ONERC", and "Expositions pédagogiques itinérantes sur le changement climatique".

Site Web du ministère de la Transition écologique et solidaire (<http://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/onerc>).

- *Rapports annuels*

Le Rapport annuel *Vers un 2^e plan d'adaptation au changement climatique pour la France – Enjeux et recommandations* a été publié au mois de novembre 2017 et diffusé directement à plus de 1500 destinataires. Ce rapport rassemble les recommandations issues de la concertation nationale pour un deuxième Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC). Celle-ci s'est largement appuyée sur les évaluations du premier PNACC 2011-2015 permettant d'avoir un retour d'expériences d'un cycle complet de politique publique. Ces recommandations ont alimenté le deuxième PNACC, objet de l'axe 19 du Plan climat de la France. La démarche d'adaptation au changement climatique ainsi renforcée apportera une contribution significative aux politiques climatiques visant une société bas-carbone résiliente au changement climatique et plus largement à la transition écologique et solidaire de la France.



Rapport Vers un 2^e plan d'adaptation au changement climatique pour la France – Enjeux et recommandations publié à La Documentation française

● Lettre d'information aux élus

Dans la période couverte par le présent rapport, l'ONERC a poursuivi ses activités de communication en parallèle des travaux pour l'élaboration d'un nouveau plan national d'adaptation au changement climatique.

Ainsi, un numéro spécial de la lettre de l'ONERC aux élus, diffusé à plus de 3000 exemplaires quelques semaines avant la cérémonie d'anniversaire des trente ans du GIEC, a permis de rappeler toute l'importance de ses travaux et de son expertise qui contribuent pleinement aux actions d'atténuation et d'adaptation des territoires. Deux autres numéros ont été préparés pour accompagner la sortie du présent rapport et du 2^e plan national d'adaptation au changement climatique.



Lettre de l'ONERC aux élus « Le climat change, agissons ! » n° 29 –
numéro spécial GIEC, février 2018

● Sélection d'informations thématiques (lettre de veille technique)

La lettre de veille technique contient une sélection d'une vingtaine de liens Web classés selon les catégories « actualité », « publications » et « manifestations », ainsi que quelques informations relatives à l'observatoire. Ces informations ciblées sont diffusées, tous les deux mois, à 875 abonnés volontaires (contre une cinquantaine seulement jusqu'en 2012).

● Centre de ressource sur l'adaptation au changement climatique (CRACC)

Parmi les principales recommandations présentes dans l'évaluation du premier PNACC par le CGEDD en 2015 figurait celle « *de confier à un consortium constitué de l'Ademe et du Cerema la mission d'organiser, avec l'appui d'autres institutions spécialisées, un centre de ressources sur l'adaptation au changement climatique [...] chargé d'apporter un appui technique pour l'élaboration des schémas et plans d'adaptation territoriaux et pour l'intégration des enjeux d'adaptation dans les plans et politiques sectoriels* ».

Le développement de ce centre de ressources sur l'adaptation au changement climatique a été confié au Cerema, en partenariat avec l'Ademe ainsi que d'autres organismes ayant largement œuvré au cours du précédent plan.

● Interventions, actions de formation et séminaire

Dans la période couverte par le présent rapport, l'ONERC est intervenu à de nombreuses reprises à l'occasion de conférences nationales ou internationales. Ci-après quelques exemples d'interventions.

Le secrétaire général de l'ONERC a ainsi présenté lors de la session d'ouverture de la conférence internationale *Climate Change and Water 2018* (début février 2018 au Centre international de congrès de Tours) la déclinaison du changement climatique aux problématiques locales de l'eau dans le Plan national d'adaptation au changement climatique.

L'ONERC a également participé à un atelier du réseau Teddif (territoires, environnement et développement durable en Île-de-France) dédié aux enjeux et aux possibilités d'action pour les territoires en matière d'adaptation au changement climatique qui s'est tenu mi-mars 2018 à Paris et qui a réuni une centaine de participants.

L'ONERC est intervenu en clôture de la journée de restitution des travaux du projet AdaMont qui s'est tenu à Paris fin mars. Le projet AdaMont vise à développer une action de recherche partenariale et intégrée sur l'adaptation au changement climatique sur un territoire de moyenne montagne, en associant production de connaissances et démarche opérationnelle en lien avec le changement climatique et les pratiques à faire évoluer.

À l'occasion des dix ans du club ViTeCC, l'ONERC a présenté le projet de deuxième plan national d'adaptation au changement climatique. Ce club, qui fête ses dix ans, présente les résultats de projets de recherche aux décideurs territoriaux, institutions et entreprises membres.

L'ONERC a participé à une réunion du réseau PCAET de Bretagne dédiée à l'adaptation au changement climatique et co-organisée par la Dreal, l'Ademe Bretagne et le conseil régional de Bretagne.

L'ONERC a également participé au lancement du programme dédié à l'adaptation au changement climatique du Comité 21, premier réseau multi-acteurs du développement durable et de la RSE qui souhaite accompagner ses adhérents pour décrypter les enjeux en cours, anticiper ceux à venir et mettre en place les mutations à opérer.

Actions de formation :

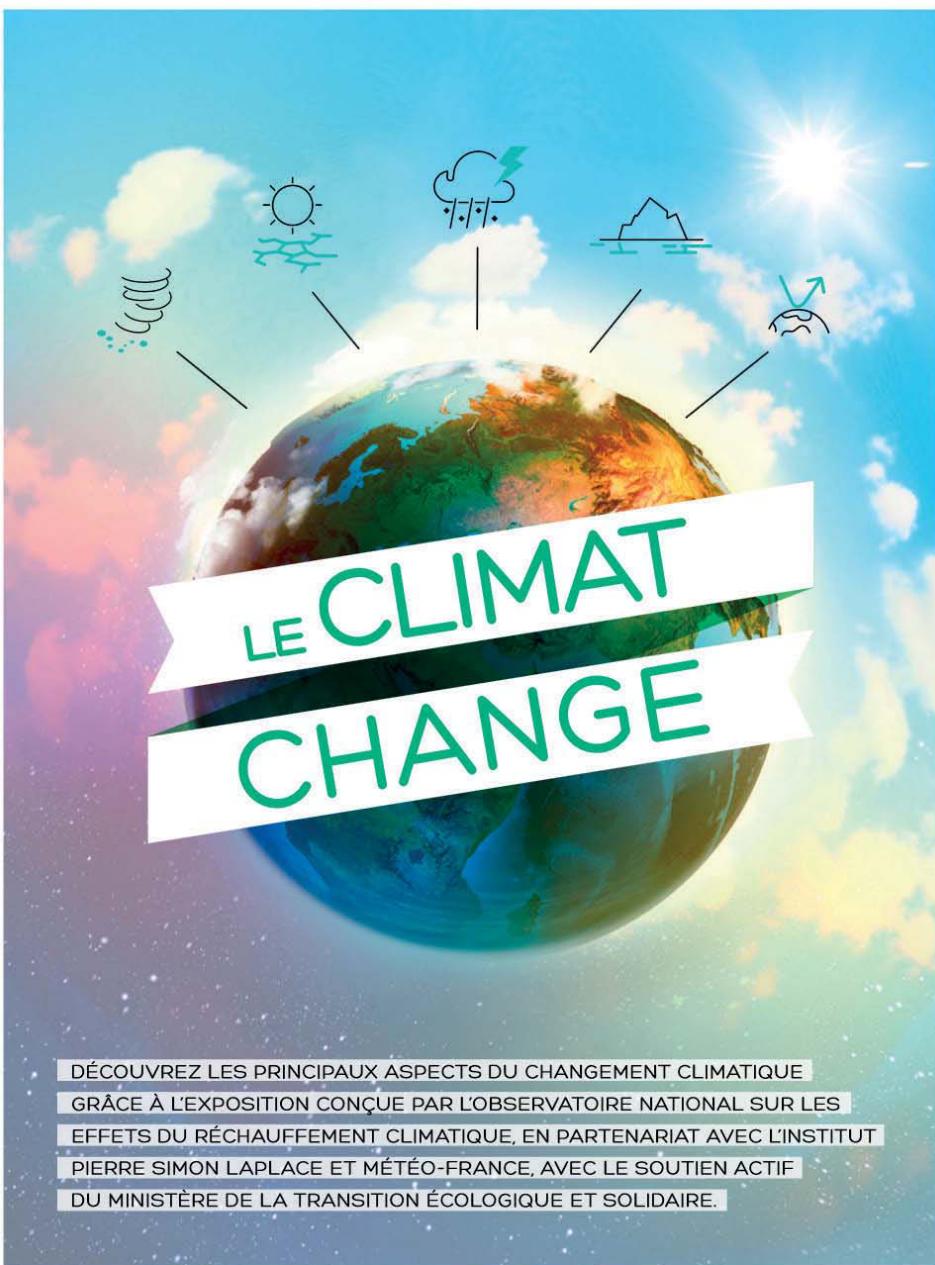
En étroite collaboration avec le bureau en charge de la formation à la DGEC, l'ONERC a participé à la mise en place d'une formation ouverte et à distance pour les agents MTES afin de sensibiliser les nouveaux arrivants à la problématique de l'adaptation au changement climatique. Cette formation a vocation à être ouverte aux élus et agents des collectivités territoriales.

● *Expositions pédagogiques itinérantes*

Les deux expositions itinérantes², l'une (exposition scientifique) visant un public averti à des fins d'explication des phénomènes et l'autre visant un public le plus large possible à des fins de sensibilisation, ont été présentées pendant une durée de 326 jours au sein d'établissements scolaires, d'entreprises, d'association et de collectivités territoriales.

Au cours du deuxième trimestre 2018, une plaquette de présentation des deux expositions a été réalisée et diffusée plus particulièrement aux bibliothèques des établissements d'enseignement supérieur ainsi qu'à une sélection de contacts au sein de collectivités territoriales.

2. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/observatoire-national-sur-effets-du-rechauffement-climatique-onerc#e6>



DÉCOUVREZ LES PRINCIPAUX ASPECTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE
GRÂCE À L'EXPOSITION CONÇUE PAR L'OBSERVATOIRE NATIONAL SUR LES
EFFETS DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE, EN PARTENARIAT AVEC L'INSTITUT
PIERRE SIMON LAPLACE ET MÉTÉO-FRANCE, AVEC LE SOUTIEN ACTIF
DU MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE.

Retrouvez le ministère de la Transition écologique et solidaire sur [Twitter](#) [Facebook](#)
www.ecologique-solaire.gouv.fr

MINISTÈRE DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE



Journal de l'exposition itinérante « Le climat change »

- *Les indicateurs du changement climatique*

Les vingt-huit indicateurs décrivant l'état du climat et ses impacts présents sur le site de l'ONERC sont régulièrement mis à jour. Cela a permis de disposer fin 2018 de 86 % d'indicateurs intégrant des données de moins de cinq ans.

Grâce aux contributeurs et partenaires de l'ONERC, certaines modifications sont intervenues dans la constitution des indicateurs du changement climatique. Mi-2018 deux synthèses d'indicateurs locaux et régionaux « Le bilan de masse d'une sélection de glaciers tempérés français » et « la date des vendanges pour un panel de vignobles français », produites en collaboration avec le Service de la donnée et des études statistiques (SDES) du ministère et qui sont également publiées sur le site de l'Observatoire national de la biodiversité (ONB), ont ainsi rejoint la série diffusée par l'ONERC. « L'évolution de la date de migration de certains oiseaux » est également un nouvel indicateur produit par la Ligue de protection des oiseaux (LPO) en remplacement de l'indicateur sur les migrations des oies. À la même période « les quantités de pollens de bouleau libérés » ont été mises à jour par le Réseau national de surveillance aérobiologique (RNSA).

La démarche de l'ONERC, qui consiste en une mise à disposition du public, sur le site Web du ministère, des indicateurs du changement climatique et de ses impacts, reste innovante au niveau international, car peu de pays se sont investis dans ce type de publication avec une actualisation suivie.

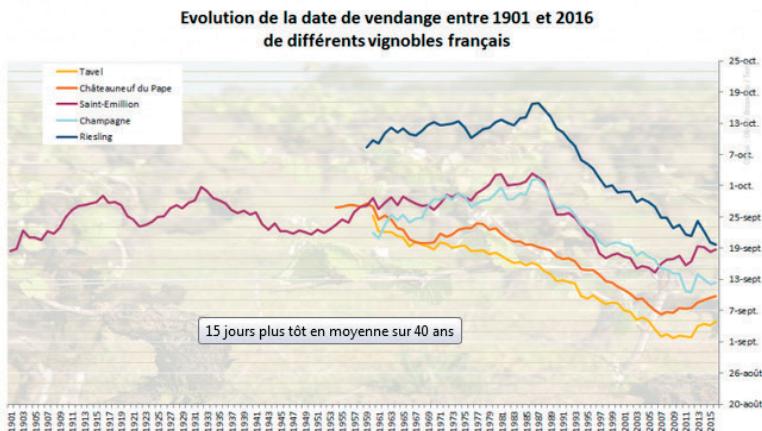


Date des vendanges pour un panel de vignobles français

Définition de l'indicateur

Cet indicateur rend compte de l'évolution des dates de vendanges (date moyenne d'ouverture) pour un panel de vignobles ou de régions en France métropolitaine.

Contact et origine des données de l'indicateur de date des vendanges



Origine des données : Inter-Rhône - ENITA Bordeaux - INRA Colmar - Comité interprofessionnel du vin de Champagne
Traitement : ONERC - SOeS, 2017

Crédits : Inter-Rhône - ENITA Bordeaux - INRA Colmar - Comité interprofessionnel du vin de Champagne

L'avancée des dates de vendanges est corrélée essentiellement avec l'évolution de la température et ce de manière quasi linéaire. Une évolution conduisant à une avancée de la date des vendanges est donc un marqueur efficace du réchauffement climatique, et de la réaction de la végétation.

Présentation de l'indicateur date des vendanges pour un panel de vignobles français sur le site du ministère

ANNEXES



Annexe I

GLOSSAIRE, SIGLES ET ACRONYMES

Accumulation morainique : Amas de débris rocheux entraînés ou déposés par un glacier

Barrage morainique : Barrage créé par une accumulation morainique

Débris gélifractés : Débris provoqués par l'éclatement des roches soumis aux cycles de gel et dégel

Dépression : Région de l'atmosphère caractérisée par une pression atmosphérique plus basse que celle des régions adjacentes situées à la même altitude. Les dépressions sont généralement accompagnées de mauvais temps : vents forts et précipitations

Écoulement turbulent : Écoulement dans lequel la vitesse présente en tout point un caractère tourbillonnaire

Échelle synoptique : Comprend les phénomènes atmosphériques dont l'ordre de grandeur est de quelques milliers de kilomètres pour les dimensions horizontales, de quelques kilomètres pour la dimension verticale et de quelques jours pour la durée

Étiage : Niveau annuel le plus bas atteint par un cours d'eau en un point donné

Fluage : Déformation lente d'un matériau qui se produit sous l'effet d'une contrainte constante à température constante.

Forçage anthropique : Variation du flux de rayonnement résultant (différence entre l'éclairement descendant et l'éclairement ascendant, exprimée en W m^{-2}), provenant de l'action de l'homme

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

Indice de refroidissement éolien : Température ressentie calculée en tenant compte de la température de l'air et de la vitesse du vent à température donnée, la sensation de froid étant plus vive en présence de vent que par temps calme

Lithologie : Nature des roches formant un objet, ensemble, ou couche géologique

Nappes sédimentaires : Aquifères formés dans des formations sédimentaires telles que les grands bassins

Niveau piézométrique : Niveau de l'eau souterraine mesurée par forage en un point et à un instant donné

Période de retour : Temps statistique entre deux occurrences d'un événement naturel d'une intensité donnée. Une crue dont la *période de retour* est de dix ans a chaque année une chance sur dix de se produire

Plan Blanc : Dispositif de crise, qui permet à un établissement de santé de mobiliser immédiatement les moyens de toute nature dont il dispose en cas d'afflux de patients, ou pour faire face à une situation sanitaire exceptionnelle. Il peut être déclenché par le directeur ou le responsable de l'établissement, qui en informe sans délai le représentant de l'État dans le département, ou à la demande de ce dernier

Plan Bleu : Plan d'organisation permettant la mise en œuvre rapide et cohérente des moyens indispensables permettant de faire face efficacement à une crise quelle qu'en soit sa nature, élaboré sous la responsabilité du directeur d'un établissement médico-social

PLC : Pathologies en lien avec la chaleur (coup de chaleur, déshydratation...)

PPI : Plan particulier d'intervention préparé par le représentant de l'État dans le département, après avis des maires et de l'exploitant concernés, définissant les mesures à prendre aux abords des installations ou ouvrages dont les caractéristiques sont fixées par décret en Conseil d'État. Ils définissent l'organisation des secours en cas d'accidents susceptibles d'affecter les populations et/ou l'environnement dans une installation classée (installation nucléaire, usine chimique, stockage souterrain de gaz...)

PPMS : Plan particulier de mise en sûreté des établissements scolaires face à un risque majeur, qu'il soit d'origine naturelle (tempête, inondation, submersion marine, séisme, mouvement de terrain...), technologique (nuage toxique, explosion, radioactivité...), ou à des situations d'urgence particulières (intrusion de personnes étrangères, attentats...) susceptibles de causer de graves dommages aux personnes et aux biens, qui doit permettre la mise en œuvre des mesures de sauvegarde des élèves et des personnels en attendant l'arrivée des secours ou le retour à une situation normale

Probabilités : Les termes suivants ont été utilisés pour indiquer la probabilité évaluée d'un résultat : quasiment certain, probabilité de 99-100 %, très probable 90-100 %, probable 66-100 %, à peu près aussi probable qu'improbable 33-66 %, improbable 0-33 %, très improbable 0-10 %, exceptionnellement improbable 0-1 %. Pour plus d'information se rapporter au rapport du GIEC, notamment le Rapport de synthèse du cinquième cycle d'évaluation

Proxy : mesure indirecte et approximative en cas d'indisponibilité de mesure directe

Réassurance : Opération par laquelle un assureur fait garantir par un autre assureur (réassureur) tout ou partie des risques qu'il a lui-même couverts

Résilience : Capacité de résistance d'un système socio-écologique face à une perturbation ou un événement dangereux, permettant à celui-ci d'y répondre ou de se réorganiser de façon à conserver sa fonction essentielle, son identité et sa structure, tout en gardant ses facultés d'adaptation, d'apprentissage et de transformation

Sinistralité : Quantité de sinistres qu'une compagnie d'assurances devra rembourser, comparée aux primes encaissées

Tassement différentiel : Mouvement non uniforme d'enfoncement du sol sous l'action d'une charge. Il peut de ce fait provoquer des dislocations des maçonneries comme l'apparition de fissures

Annexe 2

INDICATEUR RISQUE CLIMATIQUE

The image shows the cover of a report titled "Exposition des populations aux risques climatiques". The cover features a blue hexagonal logo with a white cross and sun-like rays, and the text "Changement climatique et santé". The title is in large green letters. Below the title, a text box states: "Cet indicateur rend compte de l'exposition des populations aux risques climatiques en France métropolitaine et en outre-mer. Il envisage désormais 5 niveaux d'exposition: très fort, fort, moyen, faible, très faible." The background of the cover has a gradient from blue to green.



LA PAROLE À... Véronique ANTONI,
chargée de mission sols et risques naturels

Le risque climatique résulte de la combinaison d'un événement naturel lié au climat (inondation, tempête, feu de forêt...) et de la vulnérabilité des enjeux en présence (population, industrie, patrimoine...). En 2016, 18 % des communes sont considérées à risque fort ou très fort, 11 % à risque moyen et 52 % à risque

faible ou très faible. Pour un cinquième des communes, aucun risque climatique n'a été identifié. L'analyse des événements naturels importants permet en outre d'approcher l'évolution réelle des risques climatiques durant ces trois dernières décennies. En effet, depuis 1982, l'état de catastrophe naturelle des com-

munes touchées est constaté par arrêté interministériel. Le nombre global des arrêtés pour les événements climatiques varie fortement chaque année, mais aucune tendance significative ne se dégage. »

www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr



La vulnérabilité des territoires exposés est susceptible de s'accroître avec le changement climatique, dans la mesure où l'on s'attend à ce que certains événements extrêmes météorologiques deviennent plus fréquents, plus répandus ou plus intenses.

Plaquette DICOM Indicateur exposition des populations

INDICATEURS du changement climatique

**Exposition des populations aux risques climatiques**

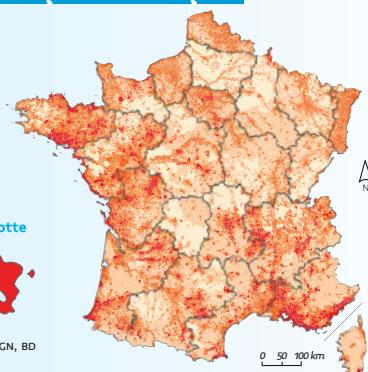
Indice d'exposition

- Très fort Faible
- Fort Très faible
- Moyen Aucun risque déclaré

Guadeloupe Martinique Guyane La réunion Mayotte



Source: MTEs, Gaspar, 2017 – Insee, RP, 2014 (2017 pour Mayotte) ©IGN, BD Carto®, 2010 ; Traitements : SDES, 2018.



DICO-M-DGEO/RIC/3075 - Décembre 2018 - Risques climatiques - Crédit photos : © Fotolia

Cette carte illustre le niveau d'exposition de la population

aux risques naturels, qui est susceptible d'augmenter avec le changement climatique. L'exposition est d'autant plus élevée que la densité de population et le nombre de ces risques naturels identifiés par commune sont élevés, sur la base des reconnaissances de l'état de catastrophe naturelle parues à ce jour. L'ampleur des risques encourus dépend plus que jamais des choix réalisés en matière de développement et d'aménagement du territoire.

Retrouvez l'ensemble des informations sur les indicateurs : www.onerc.gouv.fr

Annexe 3

DE NOUVEAUX INDICATEURS DE CHANGEMENT DES EXTRÊMES MÉTÉOROLOGIQUES EN FRANCE

Un des volets importants du projet Extremoscope (GICC et MTES/DRI/SR) a concerné le développement de nouveaux indicateurs permettant de caractériser les événements extrêmes. Ces indicateurs permettent ensuite de construire des séries chronologiques des événements et ainsi d'étudier comment leur fréquence ou leurs caractéristiques ont évolué au cours des dernières décennies. Ils permettent aussi de se projeter dans le futur dans la mesure où les modèles climatiques sont capables de les reproduire de façon réaliste.

Vagues de chaleur

Un premier indicateur original qui a été développé concerne la caractérisation des vagues de chaleur qui, au contraire des indices utilisés jusqu'ici pour le suivi climatique à Météo-France, peut être appliqué à l'échelle de régions françaises et est transposable à n'importe quelle condition climatique. Grâce à ce nouvel indicateur il est possible d'illustrer à l'échelle de chaque département français le nombre d'événements qui se sont produits dans la période 1959-2015 et leur intensité maximale au moyen des données de la réanalyse d'observations SAFRAN de Météo-France (fig. 1). Les résultats de simulations climatiques du

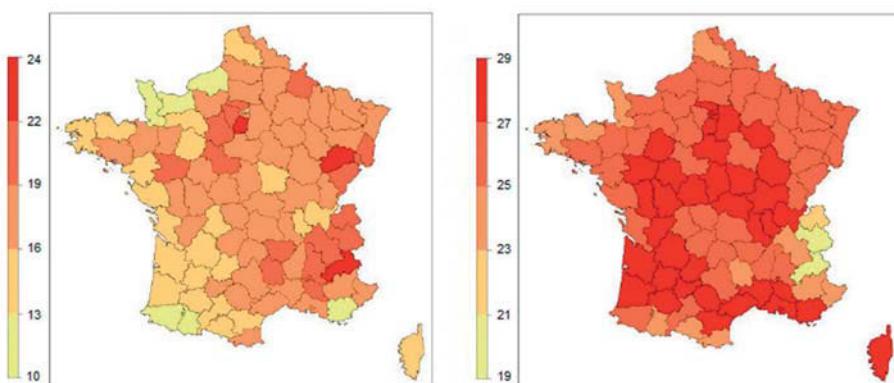


Figure 1 – Climatologie des caractéristiques des vagues de chaleur en France sur la période 1959-2015

Fondée sur l'indicateur thermique départemental SAFRAN.

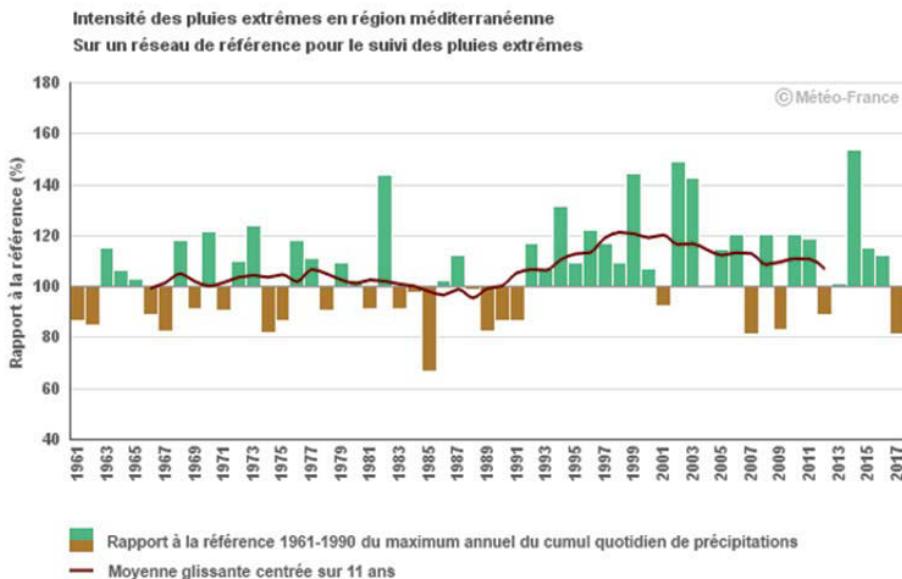
Nombre cumulé d'événements (à gauche); intensité maximale moyenne (à droite).

Source : Soubeiryroux et al., 2016.

projet européen Euro-CORDEX ont par ailleurs permis de se projeter dans le futur et de confirmer que la canicule de l'été 2003 pourrait, selon certains scénarios, devenir un événement courant largement dépassé en intensité et durée par les vagues de chaleur les plus intenses de la fin de ce siècle (Ouzeau *et al.*, 2016; Soubeyroux *et al.*, 2016).

Évolution des pluies extrêmes dans le sud-est méditerranéen de la France

● Intensité



Deux séries sont représentées sur le graphique :

Série 1 « histogramme en ocre et vert » :

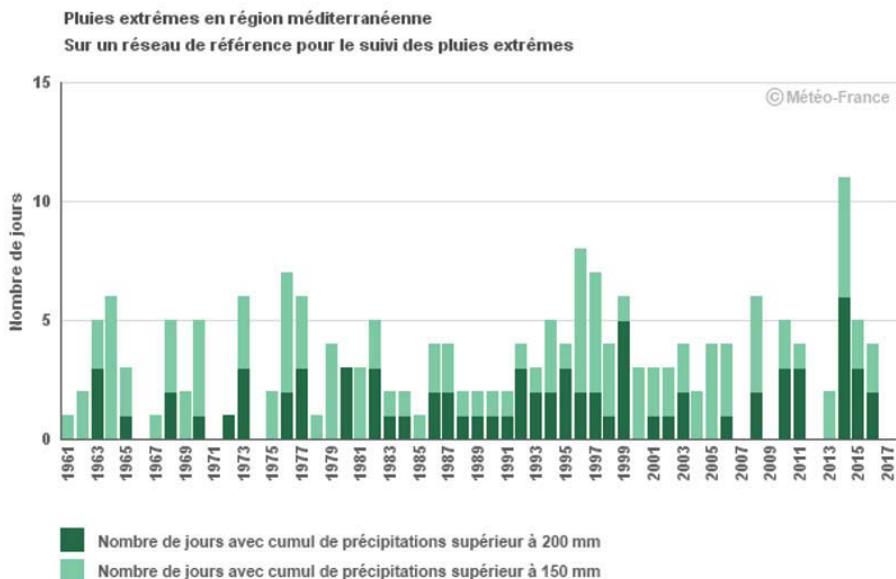
Rapport entre l'intensité du maximum annuel du cumul quotidien de précipitations et la valeur de référence (moyenne 1961-1990).

Les valeurs inférieures à la valeur moyenne établie sur la période 1961-1990 sont représentées en ocre, celles supérieures en vert.

Série 2 « courbe en trait plein bistre » :

Moyenne glissante sur 11 ans du paramètre représenté sous forme d'histogramme. Par construction de la moyenne glissante qui est centrée sur l'année concernée, il n'y a pas de valeur pour les cinq premières années de la série, ni pour les cinq dernières.

● Fréquence



Deux séries de données sont représentées sur le graphique :

Série 1 « histogramme en vert foncé » :

Nombre annuel de jours avec un cumul de précipitations supérieur à 200 mm en région méditerranéenne sur le réseau de stations sélectionnées.

Série 2 « histogramme en vert clair » :

Nombre annuel de jours avec un cumul de précipitations supérieur à 150 mm en région méditerranéenne sur le réseau de stations sélectionnées.

● Définitions

Cumul quotidien de précipitations : quantité d'eau recueillie entre J 06h UTC et J + 1 à 06h UTC.

● Données et méthodes

Les méthodes de construction des indicateurs de pluies extrêmes sont basées sur les travaux de l'article publié par Ribes *et al.* en 2018 (2018). Les données prises en compte pour le calcul de cet indicateur sont issues d'une sélection de séries quotidiennes du réseau d'observation météorologique de Météo-France sur le pourtour méditerranéen (départements des régions Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes Côte d'Azur à l'exception de la Corse, ainsi que les départements du Tarn, de l'Aveyron, de l'Ardèche et de la Drôme).

Séries quotidiennes de référence

L'homogénéisation est un traitement statistique qui consiste à détecter et corriger les biais dans les séries de mesures, afin de produire des séries de référence adaptées à l'analyse des évolutions climatiques. Ce traitement s'applique à des séries de moyennes mensuelles. Or, l'analyse des extrêmes météorologiques se base sur des données quotidiennes. On utilise alors les séries quotidiennes de référence. Ces dernières ne sont pas corrigées, mais ont été sélectionnées en raison de leur qualité, en utilisant notamment les résultats de l'homogénéisation.

Intensité

L'indicateur intensité correspond à l'intensité du maximum annuel du cumul quotidien de précipitations. Il est calculé à partir d'une soixantaine de séries sélectionnées parmi les séries quotidiennes de référence disponibles sur le pourtour méditerranéen.

Les critères de sélection concernent :

- une contrainte de couverture temporelle (nombre limité de données manquantes);
- une contrainte sur la moyenne du maximum annuel calculée sur la période de référence 1961-1990, qui doit être au moins égale à 60 mm/jour.

Chaque série retenue est normalisée par sa moyenne sur la période 1961-1990. Les séries normalisées sont ensuite regroupées par classe de proximité évaluée à partir d'une méthode décrite dans Ribes *et al.* 2018. Les moyennes des séries normalisées sont calculées pour chacune des classes et chaque année, puis les moyennes de chaque classe sont elles-mêmes moyennées pour former la série temporelle de l'indicateur.

Fréquence

L'indicateur fréquence correspond au nombre de journées de pluie intense méditerranéenne. On comptabilise une journée de pluie intense dès que le cumul quotidien de précipitation dépasse un seuil donné (150 ou 200 mm) pour au moins une série parmi toutes les séries quotidiennes de référence disponibles sur le pourtour méditerranéen (de l'ordre de 90 séries).

● *Références*

Le site des pluies extrêmes de Météo-France : <http://pluiesextremes.meteo.fr/>

Annexe 4

CONTRIBUTEURS ET REMERCIEMENTS

Cet ouvrage a été réalisé sous la direction de Laurent Michel, directeur de l'Observatoire national des effets du réchauffement climatique, et d'Éric Brun, secrétaire général.

Auteurs :

Vincent Bourcier, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

Marie Carrega, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

Christophe Corona GEOLAB, CNRS, Clermont-Ferrand, France

Anaïs Degache-Masperi, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

Jérôme Duvernay, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

Nicolas Eckert, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture/université Grenoble Alpes

Pierre Etchevers, Météo-France

Thierry Faug, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture/université Grenoble Alpes

Florence Habets, université Pierre-et-Marie-Curie

Florie Giacona, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture/université Grenoble Alpes

Vincent Jomelli, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture

Karine Laaidi, Santé publique France

Jérôme Lopez-Saez, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture/université Grenoble Alpes

Samuel Morin, Météo-France – Centre national de la recherche météorologique, Grenoble

Mohamed Naaim, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture/université Grenoble Alpes

Mathilde Pascal, Santé Publique France

Serge Planton, Météo-France, Institut Pierre-Simon-Laplace

Jean-Michel Soubeyroux, Météo-France

Laure Tourjansky, MTES, Direction générale de la prévention des risques

Jean-Paul Vanderlinden, université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines

Robert Vautard, Institut Pierre-Simon-Laplace

Sarah Voirin, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

Emmanuel Vullierme, MTES, Direction générale de la prévention des risques

Personnes ayant contribué à la relecture :

Vincent Bourcier, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

Éric Brun, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

Romain Cailleton, Direction générale de l'énergie et du climat

Marie Carrega, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

Olivier David, Direction générale de l'énergie et du climat

Jérôme Duvernay, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

Frédéric Schafferer, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

Laure Tourjanski, MTES, Direction générale de la prévention des risques

Sarah Voirin, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

Notre planète est le théâtre de nombreuses menaces naturelles : tempêtes, cyclones, tremblements de terre, inondations, mouvements de terrain, sécheresses.

Les conséquences des catastrophes naturelles sont souvent dramatiques, tant du point de vue du bilan humain qu'en termes de dommages économiques. La France a été particulièrement éprouvée par la canicule de l'été 2003, cause de près de 15 000 décès. Quant au bilan financier, les rapports récents des caisses de réassurance montrent que les coûts mondiaux des désastres météorologiques ont atteint un record en 2017 avec plus de 400 milliards de dollars, pour ceux ayant pu être estimés.

L'Organisation Météorologique Mondiale rappelle que les phénomènes liés au temps, au climat et à l'eau sont à l'origine de 90 % des catastrophes naturelles. Le changement climatique a déjà un impact sur certains événements, avec une recrudescence des événements extrêmes ou des impacts accrus, en termes de risques pour les populations et les activités économiques exposées, de santé et de fragilisation des écosystèmes. Cela concerne les vagues de chaleur, certains types de sécheresses, les précipitations extrêmes dans certaines régions, les cyclones les plus intenses et la hausse du niveau des mers.

Le présent rapport décrit l'état de l'art dans le domaine des événements extrêmes (phénomènes météorologiques ou climatiques), leur observation, leur évolution dans un climat changeant, les systèmes de prévision et d'alerte, les crises et leur gestion, la résilience et les pistes d'adaptation.

Les vagues de chaleur font partie des extrêmes climatiques les plus préoccupants au regard de la vulnérabilité de nos sociétés et de l'évolution attendue de leur fréquence et leur intensité au XXI^e siècle. D'ici la fin du siècle, pour le scénario tendanciel, un épisode tel que celui de l'été 2003 deviendrait ainsi courant, voire serait régulièrement dépassé, tant en intensité qu'en durée.

Le changement climatique, loin de remettre en cause les outils de la prévention et de la gestion des risques naturels, leur donne une nouvelle actualité et fait ressortir la nécessité de les mobiliser au mieux. La limitation de l'exposition d'enjeux (habitations, entreprises...), existants ou nouveaux, doit, plus que jamais, être une priorité dans le contexte d'aléas croissants, et se faire dans une démarche d'aménagement durable des territoires.



**Diffusion
Direction de l'information
légale et administrative
La documentation Française
Tél. : 01 40 15 70 10
www.ladocumentationfrancaise.fr**

Prix : 7,99 €
ISBN : 978-2-11-145703-4
DF : 5HC47350