



Des **Solutions** fondées sur la **Nature** pour s'adapter au **changement** **climatique**



**Rapport au Premier ministre
et au Parlement**

Des **Solutions**
fondées
sur la **Nature**
pour s'adapter
au **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.

Les événements météorologiques extrêmes dans un contexte de changement climatique, Rapport de l'Onerc au Premier ministre et au Parlement, La Documentation française, Paris, 2018.

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.

© Direction de l'information légale et administrative, Paris 2019
ISBN (papier) : 978-2-11-157004-7
ISBN (PDF) : 978-2-11-157006-1

Sommaire

MOT DU PRÉSIDENT RONAN DANTEC.....	5
RÉSUMÉ.....	7
INTRODUCTION : LA NATURE, UNE SOURCE D'INSPIRATION POUR L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	11
Chapitre A	
Genèse d'un concept stratégique	19
Historique et définitions	21
Typologie	35
Perceptions et représentations des enjeux.....	42
Chapitre B	
Cadre politique, juridique et normatif	47
Chapitre C	
Climat	81
Politique publique.....	83
Études de cas	86
Chapitre D	
Eau et biodiversité	91
Connaissances.....	93
Politiques publiques.....	100
Études de cas	110
Chapitre E	
Urbanisme	131
Connaissances.....	133
Politique publique.....	143
Études de cas	147

Chapitre F

Prévention et gestion des risques et des catastrophes naturels	165
Connaissances.....	167
Politiques publiques.....	176
Études de cas	184

Chapitre G

Gestion de la forêt	193
Connaissances.....	195
Politiques publiques.....	203
Étude de cas	209

Chapitre H

Agriculture et élevage	211
Politiques publiques.....	213
Étude de cas	216

Chapitre I

Outils pour renforcer la mobilisation des Solutions fondées sur la Nature dans une perspective d'adaptation au changement climatique	219
Évaluation socio-économique.....	221
Financements.....	228

Chapitre J

Pistes à explorer et recommandations	251
Conclusion	261
Bibliographie.....	263
Rapport d'activité de l'Observatoire.....	277
Annexes.....	291

Mot du président Ronan Dantec



© Gaël Arnaud

La France fait face à de nombreux impacts du changement climatique et continuera d'être impactée d'après les projections des scientifiques.

Qu'ils soient naturels, forestiers, agricoles, urbains, côtiers, montagnards, les territoires français subissent de plein fouet les impacts du changement climatique. Cependant, même menacés, les espèces et les écosystèmes font parfois preuve d'une grande résilience et la nature peut être source d'enseignements pour l'adaptation des sociétés humaines au changement climatique. Les enjeux actuels sont trop importants pour laisser de côté des solutions d'adaptation telles que les Solutions fondées sur la Nature qui, même

si elles ne sont pas encore toutes mures, commencent à être perçues comme un levier crédible pour mettre en œuvre des actions d'adaptation (PNACC-2, programmes des agences de l'eau, plan nature en ville, etc.).

Ce concept émergent qui a d'abord été promu sous le mode du plaidoyer, notamment par l'Union internationale pour la conservation de la nature, commence à investir de plus en plus la sphère scientifique. En effet, la Commission européenne a inscrit les Solutions fondées sur la Nature (SfN) à l'Agenda de la recherche et de l'innovation et souhaite aujourd'hui se positionner en tant que leader mondial dans le domaine. Si la formulation est nouvelle, les idées véhiculées sont déjà en germe dans d'autres concepts comme les services écosystémiques et l'adaptation fondée sur les écosystèmes qui avaient déjà été répertoriés dans le quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) en 2014.

Depuis longtemps les politiques d'aménagement du territoire, de gestion des ressources, de prévention et de gestion des risques naturels et des catastrophes ont eu recours à des solutions d'ingénierie classique (bétonisation des chaussées, drainage des marais, construction de digues, etc.). Or, dans ce contexte où les impacts du changement climatique pourraient induire des dépassements de seuils (ex. : rupture de digue liée au phénomène de submersion marine), l'essor des SfN pourrait être l'occasion de s'interroger sur les pratiques existantes et de réfléchir à la manière de mieux tenir compte de la réalité écologique dans laquelle ces politiques publiques s'inscrivent. Nous savons désormais que nous ne pouvons plus agir comme avant et qu'en détruisant nos écosystèmes nous hypothéquons notre capacité d'adaptation au changement climatique actuelle et à venir.

La commission spécialisée mise en place au sein du Conseil national de la transition écologique s'est saisie de cet axe de travail sur les SfN pour l'adaptation au changement climatique et s'engage à enrichir et guider l'action publique en la matière. Elle veillera au maintien d'un dialogue constant entre les différents acteurs afin de garantir une meilleure articulation des enjeux climat et biodiversité sur laquelle repose en grande partie notre capacité d'adaptation au changement climatique.

Résumé

Avec 10% de la biodiversité mondiale, la France fait partie des dix pays hébergeant le plus grand nombre d'espèces menacées, principalement en raison des pressions exercées par les activités humaines. Face à ces pressions, le changement climatique agit comme un catalyseur venant accentuer leurs impacts. Malgré les efforts menés pour préserver la nature à travers l'adoption de politiques ambitieuses de conservation, de gestion durable et de restauration des écosystèmes, la biodiversité française métropolitaine et outre-mer est déjà impactée par le changement climatique et continuera de l'être pendant encore plusieurs décennies étant donné l'inertie du système climatique.

Face aux impacts du changement climatique, les espèces et les écosystèmes adoptent différentes stratégies d'adaptation : changements dans la croissance, le comportement, la physiologie ou la morphologie voire changements génétiques, déplacement dans le temps de la floraison, de l'hibernation, de la reproduction, migration, modification de l'équilibre de compétition entre espèces et dispersion. Le présent rapport ne sera pas centré sur les impacts du changement climatique sur la biodiversité mais s'attachera plutôt à montrer en quoi la nature est une source d'enseignements et de solutions pour s'adapter au changement climatique.

À côté des solutions d'ingénierie classique, appelées aussi solutions « grises », très largement mobilisées, il existe aussi d'autres types de solutions, plus « vertes », qu'on appelle communément aujourd'hui les Solutions fondées sur la Nature (SfN). Les SfN sont définies par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) comme « les actions visant à protéger, à gérer de manière durable et à restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les enjeux de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité ». Ce concept a été développé dans l'objectif de regrouper sous la même bannière une multitude d'actions liées à des concepts très proches : l'adaptation basée sur les écosystèmes, les infrastructures vertes, la réduction des risques de catastrophes fondée sur les écosystèmes, les services écosystémiques, l'ingénierie écologique... Le concept de SfN permet de donner une meilleure visibilité à tous ces concepts dispersés et ainsi de faire front commun face au poids dominant des solutions d'ingénierie classique.

Ces solutions sont conçues pour relever de nombreux défis sociétaux comme celui de l'adaptation au changement climatique. Ce rapport illustre par des études de cas les différentes solutions qui peuvent être mobilisées pour faire face aux différents impacts du changement climatique (canicule, îlot de chaleur urbain, sécheresse, incendie, érosion, submersion marine, inondation, glissement de terrain...). Les prairies humides permettent par exemple de limiter les impacts liés au risque d'inondation. Les dunes et les mangroves peuvent protéger les côtes des submersions marines. La plantation d'arbres et la mise en place d'infrastructures vertes tels que les réseaux d'espaces verts en ville peuvent contribuer à la réduction de

l'effet d'îlots de chaleur urbain. Le recours à des pratiques d'agroforesterie contribue à rendre les cultures plus résilientes et crée un microclimat plus favorable pour l'élevage, notamment en période de sécheresse. La gestion durable de la forêt peut diminuer les risques d'incendies et les glissements de terrain en montagne.

Des travaux de recherche et développement sont menés pour analyser les mécanismes qui permettent aux écosystèmes d'être résilients face aux conséquences du changement climatique et pour comprendre dans quelle mesure les sociétés peuvent s'appuyer sur la résilience de ces écosystèmes pour s'adapter au changement climatique. Ces travaux ont permis de faire la preuve de l'efficacité des SfN pour l'adaptation au changement climatique dans de nombreux cas et contribuent ainsi à asseoir la crédibilité de ce type de solutions. L'idée que l'adaptation au changement climatique puisse reposer sur des SfN part du constat scientifique que des rétroactions existent entre le climat et la biodiversité. Le climat définit et influence les conditions de vie sur Terre. Une modification du système climatique va donc avoir des impacts sur les êtres vivants, leur répartition géographique, le fonctionnement des écosystèmes et les cycles biochimiques auxquels ils participent. Parallèlement, la biodiversité et les écosystèmes ont une très forte influence sur le climat et contribuent notamment à la régulation du gaz carbonique et de la vapeur d'eau dans l'atmosphère et donc de la température et des précipitations.

Outre la connaissance de ces mécanismes, des compétences sont nécessaires pour la mise en œuvre de Solutions d'adaptation fondées sur la Nature. Et la France possède déjà de nombreux savoirs et savoir-faire pertinents pour développer une véritable offre de service dans le domaine des Solutions d'adaptation fondées sur la Nature : gestion souple des dunes, modélisation de l'impact de la végétalisation sur le microclimat urbain, modélisation de l'efficacité et du ratio coût/bénéfice des SfN face aux catastrophes naturelles, restauration écologique.

Or ces connaissances et compétences se développent dans un contexte politique, juridique et normatif particulier qui peut également être mobilisé, du niveau international au niveau local, dans une perspective de déploiement des Solutions fondées sur la Nature pour l'adaptation au changement climatique. Au niveau national par exemple, un certain nombre d'outils de planification permettent déjà d'intégrer les SfN ou constituent un cadre favorable à leur déploiement. C'est notamment le cas du Plan Biodiversité¹ et du deuxième Plan national d'adaptation au changement climatique² (PNACC-2) qui promeuvent tous deux le recours aux SfN pour l'adaptation au changement climatique. Par ailleurs, du fait des multiples bénéfices qu'elles peuvent engendrer, les Solutions fondées sur la Nature pourraient même faciliter la mise en œuvre d'outils de planification multisectoriels tels que le Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET), ou de compétences transversales telles que la Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations³ (Gemapi).

1. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/plan-biodiversite>

2. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/adaptation-france-au-changement-climatique#e2>

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

Toutefois, le cadre des politiques publiques actuel nécessite des évolutions ou des aménagements pour déboucher sur un déploiement massif des SfN. À cet égard, certains outils pourraient être davantage mobilisés pour renforcer l'intégration des SfN dans les politiques publiques et plus généralement augmenter le nombre de projets. L'évaluation socio-économique des services écosystémiques pourrait par exemple permettre de consolider la crédibilité des SfN en tant que solution d'adaptation au changement climatique en montrant notamment que dans de nombreuses situations les SfN présentent un rapport coût/bénéfice plus intéressant que l'investissement et l'entretien d'infrastructures grises ou de nouvelles technologies.

De plus, étant donné qu'il n'existe que peu de sources de financement spécifiquement dédiées aux SfN (excepté le Programme nature 2050), les canaux de financements européens dédiés à l'adaptation au changement climatique (Fesi) pourraient également être mobilisés. Certains projets d'adaptation émergeant aux programmes européens LIFE et Interreg promeuvent d'ailleurs déjà le recours aux SfN.

Pour aller plus loin dans la mise en œuvre des SfN pour l'adaptation au changement climatique, ce rapport propose un certain nombre de recommandations et de pistes à explorer.

Introduction : la Nature, une source d'inspiration pour l'adaptation au changement climatique

Contexte

Après avoir accueilli la 21^e Conférence des parties (COP 21) de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC)¹ en 2015, qui a débouché sur l'accord de Paris, la France organise en 2020 avec l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) le Congrès mondial de la nature, rendez-vous incontournable des acteurs de la conservation de la nature et plus largement de la protection de l'environnement.

Cette mise à l'agenda conjointe des enjeux climatiques et de protection de la nature se matérialise aujourd'hui par les « Solutions fondées sur la Nature » comme l'ont affirmé les présidents français et chinois dans leur déclaration conjointe le 27 mars 2019. Les Solutions fondées sur la Nature (SfN) rencontrent un écho politique mondial et ont fait l'objet d'un axe de travail spécifique lors du Sommet organisé par le Secrétaire général des Nations unies sur le climat en septembre 2019.

Ce type de solutions a pris un tournant en France depuis 2018 et s'inscrit déjà dans la planification et la mise en œuvre de plusieurs politiques publiques. Ces solutions sont de plus en plus perçues par les différentes parties prenantes comme un levier crédible pour mettre en œuvre des actions d'adaptation au changement climatique, comme en témoigne leur inscription dans les plans nationaux sur la biodiversité et l'adaptation au changement climatique (voir chapitres C et D), les 11^e programmes des agences de l'eau, ou encore l'« Initiative Pacifique pour le climat et la biodiversité » lancée à l'occasion de la seconde édition du *One Planet Summit* par l'Agence française de développement (AFD), l'Union européenne, la Nouvelle-Zélande et l'Australie et dotée de plus de 21 millions €.

Après des décennies d'aménagement du territoire et de gestion des risques dans une logique de maîtrise et de lutte contre les aléas naturels, les impacts du changement climatique viennent aujourd'hui mettre en lumière les limites du recours unique à des solutions d'ingénierie classique qui ont marqué cette ère : inondations dues à l'imperméabilisation massive des sols, îlots de chaleur urbains suite

1. <https://unfccc.int/>

à l'artificialisation et à la densification des villes. Face à ce constat, l'idée d'avoir recours à des solutions plus douces, plus souples, mieux intégrées, prenant en compte le fonctionnement des écosystèmes pour être plus résilient aux impacts du changement climatique commence à faire son chemin. Nombre de ces pratiques s'appuyant sur la nature existent déjà et certaines depuis longtemps (ex. : gestion souple des dunes, voir chapitre G). Aussi, l'intérêt des SfN réside peut-être moins dans la proposition de pratiques nouvelles que dans la mise en visibilité de pratiques existantes en contrepoint au recours dominant aux pratiques d'ingénierie classiques.

Le deuxième Plan national d'adaptation au changement climatique 2018-2022 (PNACC-2) fait explicitement référence à la définition des SfN de l'UICN « actions visant à protéger, à gérer de manière durable et à restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les enjeux de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité ». Toutefois et même si cette définition est largement répandue, il existe autant de visions de ce que sont les SfN qu'il y a d'acteurs pour les porter et faire exister ces solutions. La multiplication des interprétations vient aussi de ce que les SfN rassemblent de nombreux concepts à partir desquels elles ont été développées. Le concept de SfN est notamment le fruit des différentes actions basées sur les écosystèmes.

Afin de poser le cadre nécessaire à la compréhension des SfN et de leurs liens avec l'adaptation au changement climatique, cette introduction passera en revue différents concepts associés aux SfN, présentera les principales stratégies d'adaptation de la biodiversité face aux impacts du changement climatique et montrera comment la nature peut apporter des solutions pour l'adaptation au changement climatique.

Concepts associés aux Solutions fondées sur la Nature

Depuis les années 2010, de nombreuses initiatives basées sur les écosystèmes ont fleuri. Selon les diverses communautés d'acteurs, ces initiatives sont associées à différents concepts : l'adaptation basée sur les écosystèmes, les infrastructures vertes, les SfN, la réduction des risques de catastrophes fondée sur les écosystèmes ou les mesures naturelles de rétention d'eau. Tous ces concepts ont en commun de considérer que des écosystèmes en bonne santé peuvent fournir de multiples bénéfices : aussi bien des services importants pour le bien-être humain, que pour l'atteinte d'objectifs économiques, sociaux et environnementaux, tels que l'adaptation au changement climatique.

Le développement des SfN s'appuie aussi sur le concept de services écosystémiques fortement utilisé en économie de la biodiversité et qui repose sur l'hypothèse que donner une valeur économique voire monétaire aux fonctions écologiques des écosystèmes dont les sociétés humaines tirent des services permettrait d'améliorer

la protection de la biodiversité. La plateforme d'Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFESE), conçue pour mieux connaître et faire connaître l'état de la biodiversité et ses multiples valeurs, définit un service écosystémique comme l'« utilisation par l'homme des fonctions écologiques de certains écosystèmes, à travers des usages et une réglementation qui encadrent cette utilisation (Stratégie nationale pour la biodiversité 2011-2020 (SNB)). Ils peuvent être décrits à travers les avantages retirés par l'homme de son utilisation actuelle ou future de diverses fonctions des écosystèmes, tout en garantissant le maintien de ces avantages dans la durée »². La SNB 2011-2020 distingue trois catégories de services écosystémiques : les services d'approvisionnement, les services de régulation et les services culturels, spirituels et esthétiques. Les services écosystémiques qui permettent de s'adapter au changement climatique correspondent aux services de régulation et incluent par exemple la prévention des avalanches et des glissements de terrain par certaines forêts, la réduction des risques de crues, la régulation de la température.

Les SfN sont également associées au concept d'infrastructures vertes, promu par la Commission européenne et dont le réseau Natura 2000 constitue la pierre angulaire. La Commission définit les infrastructures vertes comme « un réseau d'espaces naturels et semi-naturels planifié stratégiquement avec d'autres traits environnementaux conçu et géré de manière à fournir une large gamme de services écosystémiques tels que la purification de l'eau, la qualité de l'air, des espaces récréatifs, l'atténuation et l'adaptation au changement climatique ». Ce concept d'infrastructures vertes est fortement lié à celui de l'économie verte, aussi promu par la Commission et considéré comme créateur d'opportunités d'emploi tout en ayant des bienfaits pour la biodiversité.

Un autre concept proche des SfN est celui d'ingénierie écologique³. L'ingénierie ou le génie écologique vise à développer des pratiques plus durables en s'appuyant sur les connaissances en écologie avec le but de protéger, de restaurer les systèmes écologiques, de modifier les systèmes écologiques pour augmenter la quantité, la qualité et la durabilité de certains services qu'ils fournissent, ou de construire de nouveaux systèmes écologiques qui fournissent des services qui autrement seraient fournis à travers une ingénierie plus conventionnelle basée sur des ressources non-renouvelables⁴.

2. Définition tirée du glossaire de l'Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFESE) – Cadre conceptuel, CGDD, 2017, coll. « Théma Balises ».

3. Mitsch, (2012).

4. Barot et al., (2012).

Comment la biodiversité s'adapte-t-elle aux impacts du changement climatique ?

Avec le deuxième plus grand domaine maritime du monde et une géographie particulière qui lui confère un éventail de climats extrêmement varié, la France héberge 10 % de la biodiversité mondiale dont de nombreuses espèces endémiques. Par ailleurs, la France fait partie des dix pays hébergeant le plus grand nombre d'espèces menacées au niveau mondial, principalement en raison des pressions exercées par les activités humaines. Pressions que le changement climatique vient accentuer. En effet, la biodiversité française métropolitaine et outre-mer est déjà impactée par le changement climatique et continuera de l'être pendant encore plusieurs décennies étant donné l'inertie du système climatique.

Le changement climatique est identifié comme l'une des six pressions majeures qui concourent à l'érosion de la biodiversité d'après le modèle HIPPO(C)⁵. Les principaux impacts du changement climatique sur la biodiversité sont généralement classés ainsi : changements dans le phénotype voire dans la génétique, changements de la phénologie, migration, modification de l'équilibre de compétition entre espèces et dispersion voire extinction.

Les changements dans le phénotype se manifestent par des effets directs sur la croissance, le développement, le comportement, la physiologie ou la morphologie des espèces. Une détérioration des conditions physiologiques a par exemple déjà été observée chez la sous-population d'ours polaires (*Ursus maritimus*) du sud de la baie d'Hudson qui a perdu approximativement 45 kg pour les mâles et 31 kg pour les femelles entre 1984 et 2009⁶. Ces changements peuvent également avoir un impact sur la génétique : processus de sélection, les gènes les plus favorables dans le nouvel environnement deviennent dominants.

Les changements dans la phénologie s'apparentent à des perturbations du cycle de vie des espèces : déplacement dans le temps de la floraison, de l'hibernation, de la reproduction, des naissances... Ces changements peuvent survenir chez les végétaux comme chez les animaux. Il a par exemple déjà été observé que la sortie d'hibernation des marmottes à ventre jaune (*Marmota flaviventris*) avait eu lieu trente-huit jours plus tôt que d'habitude sur la période 1975-2000⁷.

Avec l'augmentation des températures l'aire de répartition de certaines espèces se déplace ou s'étend en altitude et vers les pôles où celles-ci trouvent des conditions de vie équivalentes à leur habitat précédent. En ce qui concerne la migration

5. Le modèle HIPPO(C) qui synthétise les pressions qui pèsent sur la biodiversité se décompose ainsi : H (habitats) la destruction ou la dégradation des écosystèmes semi-naturels ; I (invasives) la propagation d'espèces nuisibles à la biodiversité ; P (pollutions) les pollutions ; P (population) l'impact direct de la population ; O (surconsommation) la surexploitation des ressources naturelles ; C (changement climatique) les impacts directs du changement climatique ou des adaptations au changement climatique.

6. Obbard *et al.*, (2016).

7. Inouye *et al.*, (2000).

des espèces, un déplacement en altitude de 66 m a été observé pour un grand nombre d'espèces végétales entre 1965 et 1985⁸. En ce qui concerne l'augmentation de l'aire de répartition des espèces, on constate par exemple que l'aire de répartition de plus de la moitié des principaux insectes ravageurs et pathogènes affectant les forêts françaises s'est étendue par rapport à la situation des années 1970-1980. Le changement d'aire de répartition de la chenille processionnaire du pin a par exemple progressé de 4 km/an vers le nord durant les dix dernières années⁹. Les outre-mer français sont particulièrement touchés par l'augmentation des espèces exotiques envahissantes. En effet, en 2016, soixante des cent espèces considérées comme les plus envahissantes au monde étaient présentes dans les outre-mer, parmi lesquelles la Liane papillon à La Réunion, l'Iguane vert en Martinique et Guadeloupe, le Rat noir dans différentes îles¹⁰.

Ces changements dans l'aire de répartition des espèces ont à leur tour un impact sur l'équilibre de compétition entre espèces qui peut se traduire par une désynchronisation de la relation proie/prédateur. Ainsi, la date de naissance d'oisillons de la mésange bleue ne correspond plus au pic d'abondance des chenilles et les oiseaux ne nourrissent plus efficacement leurs petits¹¹.

La dispersion correspond à l'absence d'adaptation et de migration des individus pour retrouver des conditions favorables. Les effectifs de la population diminuent parfois jusqu'à l'extinction de l'espèce. Avec le changement climatique, l'ombre chevalier pourrait par exemple disparaître du lac Léman car il a un besoin impératif d'une eau de température inférieure à 7 °C pour réaliser son cycle biologique¹².

Les Solutions fondées sur la Nature, un élément majeur de l'adaptation au changement climatique

L'idée que l'adaptation au changement climatique puisse reposer sur des SfN part du constat scientifique que des rétroactions existent entre le climat et la biodiversité.

Le climat définit et influence les conditions de vie sur Terre. Une modification du système climatique va donc avoir des impacts sur les êtres vivants, leur répartition géographique, le fonctionnement des écosystèmes et les cycles biochimiques auxquels ils participent. Parallèlement, la biodiversité et les écosystèmes ont une influence très forte sur le climat et contribuent notamment à la régulation du gaz

8. Lenoir *et al.*, (2008).

9. Battisti *et al.*, (2005); Robinet *et al.*, (2014).

10. Commissariat général au développement durable, Agence française de la biodiversité, Observatoire national de la biodiversité (2018), *Biodiversité, Les chiffres clés* – édition 2018.

11. Thomas *et al.*, (2001).

12. Commission internationale de la pêche dans le Léman, (2013).

carbonique et de la vapeur d'eau dans l'atmosphère et donc de la température et des précipitations.

L'adaptation au changement climatique, définie par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) comme « la démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences »¹³, peut donc s'appuyer sur les capacités d'ajustement des écosystèmes.

Dans de nombreux contextes, les écosystèmes permettent de réduire les impacts du changement climatique. Par exemple, les zones humides permettent de réguler les inondations et de protéger les ressources en eau lors de périodes de sécheresse. Les dunes végétales et les mangroves peuvent servir de barrières naturelles contre les vents et l'érosion des côtes. Les forêts perchées sur les pentes des montagnes peuvent réduire les risques liés aux avalanches grâce aux troncs des arbres enracinés dans le sol qui ancrent le manteau neigeux. Les espaces verts, et notamment les arbres en pleine terre permettent de lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain en rafraîchissant l'air par évapotranspiration.

Ainsi la protection, la restauration et la gestion durable des écosystèmes peuvent constituer des solutions d'adaptation au changement climatique fondées sur la nature.

Présentation générale du rapport

Ce rapport s'organise autour de dix chapitres, composés de diverses sections.

Le chapitre A rappelle la genèse du concept de Solutions fondées sur la Nature (SfN) en France et dans le monde. Elle aborde les SfN en tant que concept stratégique et présente les différentes définitions qui y sont associées dans la mesure où elles induisent différentes perceptions et représentations de la nature et du changement climatique. Ce chapitre dresse également une typologie des différents impacts du changement climatique qui pèse sur la biodiversité et des différentes formes de SfN qui permettent d'y faire face. Ce chapitre s'interroge également sur les représentations mentales de la Nature et du changement climatique à travers l'apport de la recherche en psychologie environnementale.

Le chapitre B présente le cadre politique et les instruments juridiques et normatifs dans lesquels s'inscrivent les Solutions d'adaptation fondées sur la Nature.

Les chapitres C à H caractérisent la manière dont les SfN s'intègrent dans différents domaines clés de l'adaptation au changement climatique : climat, eau et biodiversité, aménagement urbain durable, risques et catastrophes naturels, gestion forestière, agriculture et élevage. Pour chacun de ces domaines d'intervention,

13. IPCC, (2014).

elles dressent un état des lieux des connaissances sur les SfN qui y sont liées ; illustrent par des études de cas comment se matérialisent concrètement les SfN pour l'adaptation au changement climatique et précisent comment elles sont ou pourraient être prises en charge par les politiques publiques associées, notamment *via* leurs outils de planification.

Le chapitre I est consacré aux outils qui permettraient de renforcer le recours aux Solutions fondées sur la Nature pour s'adapter aux impacts du changement climatique. Elle met en avant l'évaluation socio-économique comme outil d'accompagnement des politiques publiques vers la prise en compte des SfN. Ce chapitre présente également différents programmes de financement, notamment européens, qu'il est possible de mobiliser pour monter des projets d'adaptation au changement climatique fondés sur la Nature.

Le chapitre J propose des pistes à explorer et des recommandations afin que les enseignements de ce rapport se traduisent par la mise en œuvre d'actions d'adaptation concrètes.

Ce rapport, transversal dans les sujets qu'il aborde et multi-acteurs, croisant points de vue académique et de terrain, se donne à lire aussi bien comme un recueil de connaissances sur les SfN en tant que solutions d'adaptation au changement climatique que comme un recueil de témoignages d'acteurs. Ces acteurs, comme chacun d'entre nous, sont aujourd'hui en prise avec d'un côté les impacts déjà tangibles du changement climatique et de l'autre des concepts, des représentations mentales, et des pratiques qui s'auto-alimentent. À l'ère de l'adaptation où les territoires français de métropole et d'outre-mer sont amenés à faire des choix qui vont entraîner une recomposition majeure de leurs dynamiques écologiques et socio-économiques, explorer les significations possibles du concept de SfN et faire émerger des points de vue divergents est crucial afin de se donner toutes les chances de s'adapter aux impacts du changement climatique et pour que les récits et scénarios correspondent bien aux impacts différenciés du changement climatique sur ces territoires.

Chapitre A

Genèse d'un concept stratégique

© Laurent Mignaux/Terra.



Historique et définitions

Genèse des Solutions fondées sur la Nature : quand, comment et pourquoi ce concept a-t-il été développé?

**Emmanuelle Cohen-Shacham
et Angela Andrade,**

Commission sur la gestion des écosystèmes
de l'Union internationale pour la conservation
de la nature (UICN)

Les points de vue sur la conservation de la nature ont évolué ces dernières décennies et un changement de paradigme s'est produit, partant d'approches plus conventionnelles centrées sur la nature sauvage et les habitats naturels, puis sur les menaces pesant sur les espèces, vers des approches mettant l'accent sur les relations entre les humains et la nature¹.

Les Solutions fondées sur la Nature (SfN) ont été développées suite à ce changement de paradigme où les humains sont passés d'un mode d'action où ils bénéficiaient passivement de la nature à un mode d'action proactif de protection de la nature, de gestion ou de restauration des écosystèmes, afin de répondre aux grands défis de société du ^{xxi}e siècle². Bien que les SfN aient été développées depuis longtemps dans des contextes spécifiques, leur application à plus grande échelle s'est accrue de manière significative ces vingt dernières années.

L'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN)³ a commencé à promouvoir de manière active le concept des SfN depuis la publication en 2009 d'une note de positionnement à la 15^e Conférence des parties (COP15) à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC)⁴. L'UICN a ensuite formellement adopté les SfN comme l'un de ses trois domaines de travail prioritaires dans son Programme global de 2013-2016 et de 2017-2020, et a développé les cadres de définition et de mise en œuvre des SfN ces dernières années. Le travail sur les SfN est aujourd'hui en train de prendre de l'ampleur et d'être développé par l'UICN et d'autres organisations⁵ (ex. : le travail effectué par

1. Mace, (2014).

2. Cohen-Shacham *et al.*, (2019).

3. <https://www.iucn.org/>

4. <https://unfccc.int/>

5. Eggermont *et al.*, (2015).

la Commission européenne, voir l'article p. 28); par les réseaux et plateformes BiodivERsA⁶, OPPLA⁷, Think Nature⁸, l'Initiative sur les *Nature-based Solutions*⁹.

● *Définition des Solutions fondées sur la Nature et concepts associés pour l'IUCN*

En 2016, l'IUCN et sa Commission sur la gestion des écosystèmes ont publié leur cadre de définition pour les SfN¹⁰. Les Solutions fondées sur la Nature ont été définies par l'IUCN comme « des actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés, pour relever directement les enjeux de société de manière efficace et adaptative tout en assurant le bien-être humain et des avantages pour la biodiversité ». Leur objectif général est de soutenir la réalisation des objectifs de développement de la société et sauvegarder le bien-être humain de manière à refléter les valeurs culturelles et sociales et à renforcer la résilience des écosystèmes, leur capacité de renouvellement et la fourniture de services¹¹. Les Solutions fondées sur la Nature sont conçues pour relever les principaux enjeux de société tels que la sécurité alimentaire, le changement climatique, la sécurité de l'eau, la santé humaine, les risques de catastrophe, le développement économique et social.

En complément de cette définition des SfN, huit principes préliminaires ont été développés pour construire un langage et une compréhension commune des SfN¹² :

- 1) les SfN englobent les normes (et principes) de conservation de la nature ;
- 2) les SfN peuvent être appliquées seules ou intégrées à d'autres solutions aux enjeux de société (c'est-à-dire des solutions techniques et d'ingénierie) ;
- 3) les SfN sont déterminées par le contexte naturel et culturel d'un site particulier comprenant le savoir traditionnel et les connaissances locales et scientifiques ;
- 4) les SfN produisent des avantages pour la société, de façon juste et équitable, encourageant la transparence et une large participation ;
- 5) les SfN maintiennent la diversité biologique et culturelle et la capacité des écosystèmes d'évoluer avec le temps ;
- 6) les SfN s'appliquent à l'échelle du paysage ;
- 7) les SfN reconnaissent et traitent la question des compromis entre la production de quelques avantages économiques immédiats pour le développement et les options futures de production de toute la gamme des services écosystémiques ;
- 8) les SfN font partie intégrante de la conception générale des politiques et mesures ou actions.

6. <https://www.biodiversa.org/>

7. <https://oppla.eu/>

8. <https://www.think-nature.eu/>

9. <http://www.naturebasedsolutionsinitiative.org/>

10. IUCN, (2016).

11. IUCN, (2016).

12. Voir la liste complète des principes de l'IUCN, (2016).

Trois de ces principes (2, 6, et 8) distinguent les SfN d'autres approches similaires¹³. En effet, contrairement à d'autres approches, les SfN peuvent être appliquées en synergie avec d'autres types de solutions, doivent l'être à large échelle, et en étant intégrées dans des politiques publiques. En cela, les SfN sont considérées comme un concept générique pour toute une gamme de concepts.

● *Cadre conceptuel*

Le cadre conceptuel de l'UICN pour les SfN a émergé de l'approche centrée sur les écosystèmes¹⁴ que sous-tend la Convention pour la diversité biologique (CDB)¹⁵ et qui considère la conservation de la biodiversité et le bien-être humain comme dépendants du fonctionnement et de la résilience des écosystèmes naturels¹⁶.

L'UICN considère les SfN comme un concept générique qui englobe toute une gamme d'approches connues et utilisées, qui sont fondées sur les écosystèmes, s'attaquent à des défis de société spécifiques voire multiples, et contribuent au bien-être humain et à la biodiversité¹⁷. Par commodité, les concepts qui font partie des SfN peuvent être regroupés en cinq catégories¹⁸ :

- les concepts liés à la restauration de la nature, tels que la restauration écologique, la restauration des écosystèmes forestiers, le génie écologique ;
- les concepts liés à des enjeux spécifiques tels que l'adaptation au changement climatique fondée sur les écosystèmes, l'atténuation du changement climatique fondée sur les écosystèmes, la réduction des risques de catastrophes fondée sur les écosystèmes ;
- les concepts liés aux infrastructures tels que les infrastructures naturelles, les infrastructures vertes ;
- les concepts liés à la gestion tels que la gestion intégrée des zones côtières, la gestion intégrée de la ressource en eau ;
- les concepts liés à la protection de la nature tels que les approches de la conservation de la nature, incluant la gestion des aires protégées et d'autres mesures de conservation fondée sur le zonage ayant fait leur preuve.

L'UICN et sa Commission sur la gestion des écosystèmes considéraient dès le début comme important de disposer d'un cadre conceptuel rigoureux afin de développer les SfN. Ce cadre a été conçu comme devant servir de base au développement d'un cadre opérationnel solide pour les SfN, incluant un standard international et des orientations pour leur mise en œuvre, qui sont actuellement en cours de développement par le Secrétariat de l'UICN et la Commission sur la gestion des écosystèmes.

13. Cohen-Shacham *et al.*, (2019).

14. Cohen-Shacham *et al.*, (2016).

15. <https://www.cbd.int/>

16. CBD, (2004).

17. Cohen-Shacham *et al.*, (2016).

18. Voir figure A1.



Figure A1 – Cadre conceptuel de l’UICN pour les Solutions fondées sur la Nature (SfN). Les SfN sont considérées comme un concept générique couvrant une large gamme d’approches fondées sur les écosystèmes.

© UICN.

Historique de la mobilisation du Comité français de l'UICN pour les Solutions fondées sur la Nature

Justine Delangue,
Comité français de l'UICN

En 2015, dans la perspective de l'accueil par la France de la 21^e Conférence des parties (COP21) de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC)¹⁹, le Comité français de l'UICN²⁰ a initié sa mobilisation sur les Solutions fondées sur la Nature (SfN) en organisant dès le printemps un séminaire intitulé « Des Solutions fondées sur la Nature pour lutter contre les changements climatiques ». Cet événement qui a réuni plus de 110 personnes a permis la valorisation des premières études de cas recensées sur le territoire français, ainsi que de nombreux échanges sur l'opportunité qu'offrait ce concept pour intégrer la préservation des écosystèmes à l'agenda climatique.

Ces premiers retours de cas de SfN en réponse au changement climatique ont été publiés dans une brochure²¹ et présentés lors de plusieurs interventions dédiées à l'espace des solutions situé au Grand Palais mais aussi au sein des espaces générations climat, espaces dédiés à la société civile et ouverts au public lors de la COP21.

En 2016, à l'occasion du Congrès mondial de la nature, le Comité français de l'UICN a contribué à la résolution²² de définition des SfN et porté la recommandation encourageant les États à intégrer les SfN dans les stratégies de lutte contre les changements climatiques.

Afin de préciser la définition de ce concept générique et de l'illustrer par des exemples de projets déjà existants en France, le Comité français de l'UICN a publié en 2018 un ouvrage sur les SfN dans le cadre de la lutte contre les changements climatiques et la réduction des risques naturels²³.

Poursuivant sa mobilisation sur la thématique, le Comité français de l'UICN s'engage dans la mise en valeur de projets inspirants permettant de répondre aux défis « changement climatique » et « réduction des risques naturels ». Ainsi, un recueil sur les SfN pour les risques liés à l'eau est prévu pour fin 2019. Il sera complété de deux recueils sur les SfN pour les risques littoraux et ceux liés aux milieux forestiers et ouverts les années suivantes.

19. <https://unfccc.int/>

20. <https://uicn.fr/>

21. UICN France, (2016).

22. Une résolution est une recommandation qui a été adoptée par les membres de l'UICN et qui s'adresse aux États.

23. UICN France, (2018).

En complément de ces recueils qui visent à faire la preuve par l'exemple de la faisabilité et de l'efficacité des SfN, les experts, membres et partenaires du Comité français de l'UICN contribuent à l'élaboration d'un standard international de définition des SfN. Afin de rendre ce standard opérationnel en France, le Comité coordonne la production d'un document en français permettant d'explicitier ce concept et de faciliter son appropriation par les acteurs du territoire.

L'objectif est d'accompagner les porteurs de projets afin d'identifier, de mettre en œuvre et de consolider les SfN existantes sur leur territoire. Cette démarche permet de préciser les conditions indispensables à inclure dans un projet pour répondre à la définition des SfN. Cette publication sera présentée lors du prochain Congrès mondial de la Nature²⁴ en 2020 à Marseille.

Le génie écologique, un outil pour l'adaptation des territoires au changement climatique

Thomas Redoulez,

Union professionnelle du génie écologique (UPGE)²⁵

● *Le génie écologique*

« Conduite de projets qui, dans sa mise en œuvre et son suivi, [...] favorise la résilience des écosystèmes »²⁶. Autrement dit, une action de génie écologique utilise des techniques variées qui partagent la même finalité, le soin des milieux naturels : restauration d'écosystème, réhabilitation de fonctions écologiques, gestion des milieux, préservation de la biodiversité...

● *Apparition d'une filière économique*

La filière du génie écologique constitue encore une jeune activité économique qui se structure petit à petit autour d'un marché rassemblant des activités de conseil, d'études et de travaux. Présenté comme une « filière verte stratégique en plein développement »²⁷, le génie écologique fait partie des métiers de la biodiversité en plein essor. Le rapport Delannoy estime à 107 000 en 2016 le nombre d'emplois liés à la biodiversité²⁸ quand un rapport²⁹ établi à la demande du ministère de l'Écologie évalue, lui, à plus de 30 000 la création d'emplois liés à la protection

24. <https://www.iucncongress2020.org/fr>

25. <http://www.genie-ecologique.fr/>

26. *Journal officiel* du 18 août 2015.

27. Rapport d'étape « filières vertes » – Développement de la filière « génie écologique » – ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (MEEM), 30 juin 2011.

28. Delannoy E., (2016).

29. Boston Consulting Group, (2009).

de la biodiversité sur la période 2009-2020. La jeune filière du génie écologique participe pleinement à ce mouvement.

Le développement du marché du génie écologique en France est en particulier lié aux évolutions du cadre réglementaire qui jalonnent les quarante dernières années. Que ce soit au niveau national (1976 – protection des espèces ; 2007 – Grenelle de l'environnement ; 2016 – loi « Biodiversité ») ou européen (1992 – directive-cadre habitats ; 2000 – directive-cadre sur l'eau), c'est principalement par le levier réglementaire, imposant aux aménageurs la prise en compte de la biodiversité, que le marché du génie écologique a pu prendre forme à travers la restauration écologique des milieux ou la prise en compte des impacts sur les écosystèmes avec la séquence « éviter, réduire, compenser ». Le préjudice écologique, dernier outil créé en 2016 par la loi « Biodiversité », représente un potentiel majeur, tant pour la préservation du bien commun qu'est la biodiversité que pour le développement du marché du génie écologique, mais il n'a à ce jour pas encore été mis en œuvre.

Les politiques de protection des espaces naturels s'intègrent également dans cette dynamique et ont permis l'émergence d'acteurs liés à la gestion des milieux dans les parcs nationaux ou régionaux, les réserves, les espaces naturels sensibles des départements, les conservatoires du littoral ou d'espaces naturels...

Des démarches volontaires portées par des acteurs publics ou privés ont également créé dans une moindre mesure des opportunités de marché : tourisme vert, agroécologie, transition écologique des activités économiques...

● *Un outil pour l'adaptation des territoires au changement climatique*

À travers son objectif qui est de favoriser la résilience des écosystèmes, le génie écologique améliore la capacité des territoires à s'adapter aux conséquences du changement climatique. En effet, un écosystème en bonne santé, résilient, est capable de subir des pressions importantes sans que les principales fonctions qu'il supporte ne soient dégradées. C'est grâce à la diversité biologique qui le compose qu'il peut répondre rapidement aux modifications des facteurs extérieurs sans que cela n'impacte fondamentalement sa structure. En effet, dans un système vivant équilibré, les fonctions sont assurées par des espèces en interrelation, dépendantes les unes des autres et qui se complètent mutuellement.

En somme, le génie écologique peut également constituer un outil pour aider les territoires à faire face aux impacts du changement climatique, en offrant toute une palette de solutions techniques fondées sur la nature aujourd'hui en plein essor : restauration des milieux dégradés, constitution des conditions nécessaires à l'apparition d'un nouveau milieu, déplacement d'espèces, recréation de sols, protection de la diversité biologique...

Définition des Solutions fondées sur la Nature de la Commission européenne et intégration dans les instruments, les politiques et les initiatives de l'Union européenne

Sarah Voirin,

Observatoire national sur les effets
du réchauffement climatique (Onerc)

● *Définition et historique de la mobilisation de la Commission européenne sur les Solutions fondées sur la Nature*

La Commission européenne fait la promotion des Solutions fondées sur la Nature (SfN) comme une approche innovante permettant d'optimiser les synergies entre la nature, la société et l'économie. Elle les définit ainsi : « Les Solutions fondées sur la Nature³⁰ qui répondent à des défis sociétaux sont des solutions inspirées de la nature et qui s'appuient sur la nature, qui présentent un bon rapport coût/efficacité tout en fournissant simultanément des bénéfices environnementaux, sociaux et économiques et qui contribuent à la construction de la résilience. De telles solutions renforcent la place de la nature, des traits et des processus naturels au sein des villes et des paysages terrestres et marins, à travers des interventions adaptées aux contextes locaux, efficaces dans la gestion des ressources et systémiques ». L'accent est mis sur une approche systémique des défis sociétaux, en innovant avec des initiatives basées sur les écosystèmes naturels et des pratiques de « co-design », « co-développement » et « co-implémentation ». En mettant en avant des solutions qui doivent répondre à divers défis sociétaux, cette définition permet d'inclure des SfN ayant pour objectif l'adaptation au changement climatique, la sécurité alimentaire, la santé, le bien-être ou encore la réduction des catastrophes naturelles.

Le concept de SfN a été construit à partir d'autres concepts étroitement liés tels que l'approche fondée sur les écosystèmes, les services écosystémiques, l'adaptation fondée sur les écosystèmes, les infrastructures vertes et bleues. Aussi depuis longtemps la Commission européenne développe-t-elle et intègre-t-elle dans ses politiques des initiatives³¹ fondées sur les écosystèmes. Parmi ces initiatives on peut citer par exemple : « Vers de meilleures options environnementales et vers une meilleure gestion des inondations »³² (2009), la « Feuille de route sur l'eau »³³ et les « Mesures naturelles de rétention de l'eau »³⁴ (2012). La Commission européenne a également investi de manière significative le domaine

30. <https://ec.europa.eu/research/environment/index.cfm?pg=nbs>

31. <https://oppla.eu/case-studies/existing-ecosystem-based-initiatives-eu-level>

32. https://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/pdf/Note%20-%20Better%20environmental%20options.pdf

33. https://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/index_en.htm

34. <http://nwrm.eu/>

des SfN. Au sein de la Commission européenne, la référence aux SfN a été initiée par la Direction générale de la recherche et de l'innovation (DG RTD), qui a promu le concept dans les domaines de la recherche et de l'innovation. Grâce à cette impulsion du domaine de la recherche, le concept de SfN a pris de l'ampleur, si bien qu'aujourd'hui les communautés travaillant dans les domaines de la biodiversité et du climat investissent également ce champ d'action. Puis, au travers des conférences des parties à la Convention sur la diversité biologique³⁵ successives, prenant la mesure que les objectifs de préservation de la biodiversité étaient loin d'être atteints, cette impulsion a été confirmée par la volonté politique de la Commission de renforcer les actions et d'adopter une approche différente de la préservation de la biodiversité. En communiquant plus sur les multiples services écosystémiques que sur l'érosion de la biodiversité, il s'agissait de trouver une manière d'aborder de nombreux défis sociétaux et de mobiliser un large panel d'acteurs concernés par la conservation de la biodiversité et des services écosystémiques. Parallèlement, le travail de la Commission européenne sur les SfN en matière de recherche et d'innovation des SfN a pu être lancé et se décline également au sein du réseau pan-européen d'organismes nationaux et régionaux de programmation et de financement de la recherche BiodivERsa³⁶.

Les différents éléments qui peuvent relever ou non des SfN ont fait l'objet de nombreux débats et la définition des SfN a été amenée à évoluer. Dans le cadre du groupe d'experts des SfN de l'Agenda européen de la recherche et de l'innovation³⁷, les SfN excluent les méthodes qui altèrent la nature de manière artificielle telles que les organismes génétiquement modifiés. Depuis 2016, lors de l'appel à projet « Verdir l'économie » du Programme de travail 2016-2017 d'Horizon 2020³⁸, la Commission européenne a spécifiquement exclu le recours au biomimétisme de la définition des SfN. Cette bifurcation est venue surtout de la nécessité de promouvoir l'axe de travail spécifiquement dédié à la préservation de la biodiversité et aux services écosystémiques. Il est à noter que le biomimétisme pouvait déjà être intégré dans d'autres axes de travail du Programme-cadre de recherche Horizon 2020, entre autres dans l'éco-innovation. La définition actuelle des SfN de la Commission européenne est donc très proche de celle de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN)³⁹.

● *Les Solutions fondées sur la Nature et l'adaptation dans les politiques communautaires*

La Commission européenne mène depuis plusieurs années un travail d'intégration des SfN dans différents instruments politiques et initiatives de l'Union européenne.

35. <https://www.cbd.int/>

36. <https://www.biodiversa.org/>

37. <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/news/towards-eu-research-and-innovation-policy-agenda-nature-based-solutions-re-naturing-cities>

38. https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2016_2017/main/h2020-wp1617-climate_en.pdf

39. <https://www.iucn.org/fr/commissions/commission-ecosystem-management/solutions-fondees-sur-la-nature>

En effet, les instruments de l'UE⁴⁰ tels que les Fonds de la politique de cohésion (Fesi)⁴¹ et les programmes-cadres Horizon 2020, LIFE⁴² et Interreg⁴³ permettent de financer la mise en œuvre d'actions et de travaux de recherches sur les SfN.

Les Solutions fondées sur la Nature dans les instruments européens dédiés à l'adaptation au changement climatique

En ce qui concerne la politique d'adaptation au changement climatique, l'apport de la recherche et de l'innovation en matière de SfN se concentre aujourd'hui sur les appels à projets 2016 pour les villes et 2017 à l'échelle des paysages. Les résultats de la recherche et de l'innovation en matière de SfN pour l'adaptation sont valorisés dans le cadre des travaux sur la stratégie d'adaptation de l'Union européenne⁴⁴. Et l'intégration des SfN dans la politique européenne d'adaptation se fait en relation avec la Direction générale de l'action pour le climat (DG CLIMA).

La Stratégie d'adaptation de l'Union européenne publiée par la Commission en 2013 recommande le recours à des approches basées sur les écosystèmes (plus connues sous le sigle EbA pour *Ecosystem based Adaptation* en anglais) parce qu'elles sont considérées comme présentant un bon rapport coût/efficacité pour différents scénarios, facilement accessibles et fournissant de multiples bénéfices.

Cette recommandation est soutenue par les 3,4 milliards € du programme LIFE pour la période 2014-2020, le principal programme de financement européen pour l'environnement et l'action climatique, qui finance divers projets mobilisant l'EbA pour améliorer la résilience de l'agriculture, de la gestion forestière, des aires urbaines et de la gestion des inondations. Le programme LIFE finance par exemple des projets tels que : LIFE DICCA⁴⁵ pour 2 millions € sur la préparation au changement climatique à travers une meilleure gestion des écosystèmes et de l'eau dans les îles du Danube de Vienne ; LIFE SPARC⁴⁶ pour 8,5 millions € sur l'augmentation de la résilience de l'estuaire de l'Escaut. En 2019, le programme LIFE flèche 24 millions € sur l'adaptation au changement climatique et les projets EbA sont fortement encouragés. En plus des projets EbA le programme LIFE finance déjà des projets qui mobilisent explicitement les SfN pour l'adaptation⁴⁷.

40. Voir chapitre I du présent rapport.

41. https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/funding-opportunities/funding-programmes/overview-funding-programmes/european-structural-and-investment-funds_en

42. <https://ec.europa.eu/easme/en/life>

43. <https://www.interregurope.eu/>

44. https://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what_en

45. http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspage&n_proj_id=6698

46. <https://life-sparc.eu/fr>

47. Voir chapitre I du présent rapport.

Les Solutions fondées sur la Nature pour l'adaptation dans les politiques et initiatives de l'UE

Au-delà de la politique spécifiquement dédiée à l'adaptation, les SfN pour l'adaptation sont valorisées dans de nombreuses autres politiques et initiatives de l'UE.

Favoriser la croissance verte, par la promotion d'investissements durables qui intègrent des SfN, pour la réduction des risques de catastrophe naturelle (inondations, feux de forêt, sécheresse, etc.) est l'une des priorités du Plan d'action de l'UE pour la réduction des risques de catastrophe⁴⁸ lancé en 2016 en lien avec le Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030⁴⁹, au niveau international.

Dans la Stratégie pour les Infrastructures Vertes⁵⁰ adoptée en 2013, la Commission fait une référence directe à la Stratégie d'adaptation de l'Union européenne pour encourager les actions en matière d'infrastructures vertes et d'approches fondées sur les écosystèmes pour l'adaptation et la réduction des risques de catastrophes.

La Stratégie biodiversité de l'Union européenne pour 2020⁵¹ adoptée en 2011 appelle les États membres à cartographier et à évaluer l'état des écosystèmes et de leurs services dans leur territoire national avec l'aide de la Commission européenne, en montrant le rôle important que jouent les écosystèmes dans l'adaptation aux impacts du changement climatique en tant que services écosystémiques. Le travail mené dans le cadre du « Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services⁵² » (MAES), qui correspond à l'Objectif 2 et à l'Action 5 de la Stratégie biodiversité et dont le premier rapport technique a été publié en 2013, aide à l'identification d'opportunités pour la contribution des écosystèmes à l'adaptation au changement climatique, en particulier, par la cartographie et l'évaluation de plusieurs fonctions protectrices des écosystèmes dans la prévention des inondations côtières et fluviales ou des sécheresses. La Commission européenne consacre également une place aux SfN dans ses orientations sur l'intégration des écosystèmes et de leurs services dans les processus de décisions de 2019⁵³ à travers un chapitre sur le rôle des écosystèmes et de leurs services dans les politiques d'adaptation au changement climatique.

Le Mécanisme de financement du capital naturel⁵⁴ mis en place par la Commission européenne et la Banque européenne d'investissement avec un budget de 185 millions € fournit des ressources pour la préservation du capital naturel, incluant l'adaptation au changement climatique. Un des nouveaux projets financés concerne par exemple la renaturation de 20 km d'étendue de l'Alzette entre la ville de Luxembourg

48. https://ec.europa.eu/echo/sites/echo-site/files/1_en_document_travail_service_part1_v2.pdf

49. <https://www.unisdr.org/we/coordinate/sendai-framework>

50. <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/10102/2019/EN/SWD-2019-193-F1-EN-MAIN-PART-1.PDF>

51. https://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/strategy/index_en.htm

52. https://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/ecosystem_assessment/index_en.htm

53. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-11395-2019-ADD-1/en/pdf>

54. <https://www.eib.org/en/products/blending/ncff/index.htm>

et Mersch avec un budget de 20 millions € pour la réduction des risques d'inondation, l'augmentation de la biodiversité et l'amélioration de la qualité de l'eau.

Les Solutions fondées sur la Nature dans l'agenda européen de la recherche et de l'innovation

C'est principalement par le biais de l'Agenda de la recherche et de l'innovation européen que les SfN commencent à être intégrées aux différentes politiques communautaires. Les principaux objectifs de la politique de l'Agenda européen de la recherche et de l'innovation envers les SfN incluent :

- le développement d'un cadre favorable aux SfN à l'échelle des politiques européennes ;
- la mise en place d'une communauté d'innovateurs SfN ;
- la démonstration de l'efficacité des SfN et l'apport de connaissances ;
- la progression du développement, de l'appropriation et de l'amélioration des SfN ;
- l'intégration des SfN dans l'Agenda de la recherche et de l'innovation international.

La recherche et l'innovation dans les SfN sont perçues et conçues en tant que soutien à la mise en œuvre des politiques communautaires (adaptation au changement climatique, biodiversité et infrastructures vertes, eau, réduction des risques de catastrophes, finance durable, développement durable...).

Programme-cadre de recherche et d'innovation actuel de l'Union européenne, Horizon 2020⁵⁵ finance actuellement un portefeuille de projets sur les SfN avec 156 millions € (2016-2017, et qui passera à 200 millions € en 2020). Ce portefeuille inclut des projets de démonstration à grande échelle de SfN pour la résilience aux impacts du changement climatique et de la ressource en eau dans les villes (UNALAB⁵⁶, Connecting Nature⁵⁷, GROW GREEN⁵⁸ et URBAN GREEN UP⁵⁹) et à l'échelle des paysages (OPERANDUM⁶⁰, PHUSICOS⁶¹ et RECONNECT⁶²), ainsi que des projets spécifiquement dédiés au développement de modèles d'affaires, de gouvernance et de financement des SfN (NATURVATION⁶³, Nature4Cities⁶⁴ et NAIAD⁶⁵).

55. <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en>

56. <https://www.unalab.eu/>

57. <https://connectingnature.eu/>

58. <http://growgreenproject.eu/>

59. <https://www.urbangreenup.eu/>

60. <https://site.unibo.it/operandum/en>

61. <https://phusicos.eu/>

62. <http://www.reconnect.eu/>

63. <https://naturvation.eu/>

64. <https://www.nature4cities.eu/>

65. <http://naiad2020.eu/>

L'Agenda européen de la recherche et de l'innovation permet donc le financement de projets de SfN tournés vers l'adaptation au changement climatique. Et ceci n'est pas limité au financement du défi sociétal⁶⁶ n° 5 d'Horizon 2020 « Action climatique, environnement, utilisation efficace des ressources et matières premières ».

À travers son Institut européen de l'innovation et de la technologie (EIT), la Commission européenne soutient également les travaux menés dans Climate-KIC, une communauté de savoirs et d'innovation qui identifie et soutient l'innovation systémique pour aider la société à s'adapter au changement climatique. Cette communauté apporte des financements et accompagne un portefeuille de projets, de l'émergence de l'innovation jusqu'à l'augmentation proportionnelle de son application, incluant le financement d'innovations portant sur les écosystèmes. EIT Climate-KIC qui procède d'une approche systémique de l'action climatique a développé une vision pour 2019-2022 comprenant douze objectifs qui fonctionnent de manière intégrée pour les villes, l'usage des terres, les matériaux et le système financier. Un exemple de projet d'innovation sur les écosystèmes lancé en 2019 nommé « *Adaptive Cities Through integrated Nature Based Solutions* » a pour objectif de connecter, d'accélérer et d'augmenter proportionnellement la mise en œuvre de SfN à travers seize villes européennes.

La Commission européenne soutient également les partenariats de l'Agenda urbain de l'Union européenne incluant le partenariat sur l'usage durable des terres et les SfN et le partenariat pour l'adaptation au changement climatique. Un exemple de projet financé par les actions d'innovation urbaines (*Urban Innovation Actions*) est RESILIO – *Resilience nEtnetwork of Smart Innovative cLimate-adaptive rOoftops*⁶⁷, qui applique des SfN pour l'adaptation au changement climatique.

La Commission européenne s'est alliée à l'Agence européenne de l'environnement (EEA) pour créer la plateforme Climate-ADAPT⁶⁸. Cette plateforme renferme un grand stock et une richesse d'information, d'orientations, et d'études de cas sur l'adaptation fondées sur les écosystèmes notamment à l'échelle régionale et de la ville. OPPLA⁶⁹ rassemble également de nombreuses études de cas de SfN et notamment sur l'adaptation au changement climatique.

66. <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/societal-challenges>

67. <https://www.uia-initiative.eu/en/uia-cities/amsterdam>

68. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/>

69. <https://oppla.eu/search/node/adaptation%20to%20climate%20change>

Encadré 1

Les taskforces sur les SfN d'Horizon 2020

Les *taskforces* sur les SfN du programme Horizon 2020 promeuvent également des projets de SfN pour l'adaptation au changement climatique. Les projets sur les SfN H 2020 portés par la DG RTD et EASME sont menés de manière coordonnée à travers des *taskforces* thématiques qui ont été créées pour encourager conjointement le passage à l'échelle supérieure et l'intégration des SfN en Europe et au-delà. Elles contribuent toutes à fournir des preuves robustes sur les bénéfices, le rapport coût/efficacité, la viabilité économique et les opportunités des SfN pour relever systématiquement des défis liés au changement climatique aussi bien que d'autres enjeux globaux. Ces *taskforces* portent sur : 1) la finance innovante et les modèles d'affaires et de gouvernance pour les SfN ; 2) les cadres et indicateurs d'évaluation de l'efficacité des SfN (en s'appuyant sur le Cadre d'évaluation des impacts d'Eclipse) ; 3) l'interopérabilité des données de l'UE sur les SfN et la création d'un recueil de connaissances commun pour l'UE (OPPLA) ; 4) l'organisation d'actions de communication conjointes (ex. : Manifeste pour la coopération sur les SfN) ; 5) les SfN pour la réduction des risques hydrométéorologiques à l'échelle des paysages.

En à peine deux ans de travail, ces *taskforces* et les projets impliqués ont montré qu'ils pouvaient potentiellement avoir un impact transformationnel qui augmentera au fur et à mesure de la mise en œuvre des projets (jusqu'en 2025). Parmi les résultats déjà obtenus :

- une batterie d'indicateurs communs pour l'évaluation de l'impact des SfN sur les aires urbaines et notamment leur impact en matière d'adaptation au changement climatique ;
- une base de données rassemblant déjà plus d'une centaine d'études de cas sur les SfN, disponible sur la plateforme OPPLA, le recueil de données de l'UE sur les SfN, le capital naturel et les services écosystémiques ;
- des lignes directrices sur la manière de financer les SfN ;
- la compilation des modèles d'affaires innovants pour les SfN, un catalogue et des orientations sur les métriques les plus pertinentes et les méthodes disponibles pour évaluer les impacts des SfN ; des cadres pour dupliquer les SfN existantes.

Typologie

Les différents types d'impact du changement climatique en fonction de la temporalité

Jérôme Duvernoy,

Observatoire national sur les effets
du réchauffement climatique

● Introduction

Les solutions d'adaptation fondées sur la nature nécessitent une biodiversité en bonne santé écologique pour pouvoir être efficaces. Or, les conséquences des événements extrêmes sont souvent dramatiques en termes de dégâts sur les écosystèmes. En outre, pour certains de ces aléas, le changement climatique pourrait se traduire par une recrudescence des événements extrêmes ou par des impacts accrus, notamment en termes 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.

● Définition

Il convient de distinguer 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.

Par définition 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 d'évaluation (AR5) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) 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.

● *Impacts des événements climatiques sur la biodiversité*

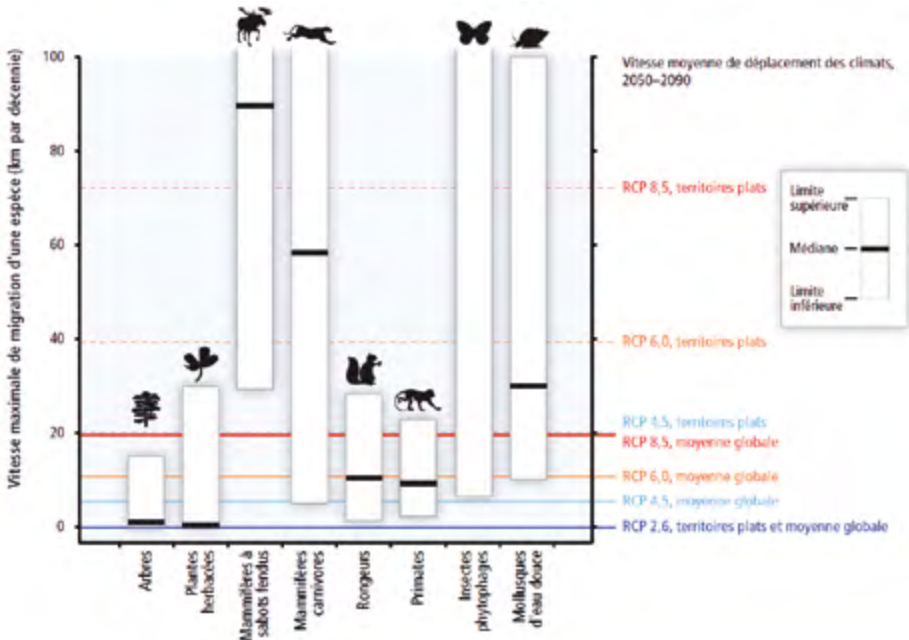


Figure A2 – Vitesses maximales de déplacement par espèce en km par décennie (basées sur des observations et des modèles; axe des ordonnées) en fonction de la vitesse d'augmentation de la température (vitesses climatiques pour la température; axe des abscisses) selon différents scénarios (en km par décennie).

© GIEC AR5 WG2 fig 5SPM.

La figure A2 tirée du « Résumé pour décideur » du volume II du cinquième rapport d'évaluation du GIEC montre les vitesses maximales auxquelles les espèces peuvent se déplacer dans l'espace (en se basant sur des observations et des modèles; axe vertical à gauche) par rapport aux vitesses auxquelles les températures devraient se déplacer à travers l'espace (vitesses climatiques pour la température; axe vertical à droite). Les interventions humaines, telles que le transport ou la fragmentation de l'habitat, peuvent considérablement augmenter ou diminuer la vitesse de déplacement. Les cases blanches avec des barres noires indiquent les plages et les médianes des vitesses maximales de déplacement des arbres, des plantes, des mammifères, des insectes phytophages (valeur médiane non

estimée) des mollusques d'eau douce... Pour les scénarios RCP2.6, 4.5, 6.0 et 8.5 de 2050 à 2090, les lignes horizontales indiquent la vitesse d'évolution du climat pour la moyenne de la superficie terrestre globale et pour les grandes plaines. Les espèces dont la vitesse maximale est inférieure à chaque ligne ne devraient pas pouvoir suivre le réchauffement en l'absence d'intervention humaine.

Dans les prochains paragraphes, nous présentons les principales conclusions de différents rapports tels que les rapports d'évaluation du GIEC (AR5, SR1.5⁷⁰ et SRCCL⁷¹) ou le rapport de l'IPBES publié en mai 2019, sur les impacts du changement climatique sur les écosystèmes au niveau mondial. Comme le rappelle le rapport spécial sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1.5 °C du GIEC approuvé en octobre 2018, les impacts sur la biodiversité seront d'autant plus réduits que le réchauffement sera contenu.

Les écosystèmes planétaires ont déjà été fortement affectés par les changements climatiques antérieurs alors qu'ils se réalisaient à des vitesses inférieures aux changements prévus dans les scénarios plus pessimistes (RCP8.5). La plupart des écosystèmes sont vulnérables au changement climatique même aux taux de changement climatique projetés dans des scénarios de réchauffement plus modérés (RCP2.6 à RCP6.0). Les archives paléo-écologiques montrent que les changements climatiques globaux d'une ampleur comparable à ceux prévus pour le ^{xxi}e siècle dans tous les scénarios ont entraîné des changements à grande échelle ainsi que des changements dans la composition des communautés ; pouvant aller jusqu'à des extinctions d'espèces dans les scénarios les plus pessimistes.

Le rapport de l'IPBES rappelle que dans un avenir proche, le changement climatique est un facteur direct qui exacerbe les impacts dus aux autres pressions anthropiques directes telles que l'utilisation et les changements d'utilisation des sols, la pollution et l'utilisation accrue des ressources en eau qui constituent les menaces principales sur la plupart des écosystèmes d'eau douce et terrestre au cours des trois prochaines décennies. Tandis que dans la seconde moitié du ^{xxi}e siècle, en particulier dans des scénarios de réchauffement climatique élevé, le changement climatique constituera un facteur de stress important pour les écosystèmes terrestres et d'eau douce.

De nombreuses espèces végétales et animales se sont déplacées spontanément, ont vu leur population changer et ont modifié leurs activités saisonnières en réponse aux changements climatiques observés au cours des dernières décennies. Ce phénomène est maintenant observable dans de nombreuses régions et cela continuera dans le futur en réponse au changement climatique. Dans le cas d'un réchauffement planétaire limité à 2 °C, 18% des insectes, 16% des plantes

70. GIEC (2018), *Rapport spécial sur les impacts d'un réchauffement climatique global de 1,5 °C par rapport à 2 °C et les trajectoires d'émissions de gaz à effet de serre à suivre pour limiter le réchauffement à 1,5 °C, dans le cadre plus général du développement durable et de l'éradication de la pauvreté* : <https://www.ipcc.ch/sr15/>

71. GIEC (2019), *Rapport spécial sur 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* : <https://www.ipcc.ch/report/srccl/>

et 8 % des vertébrés perdront plus de la moitié de leur niche écologique. Dans des conditions de changement climatique moyennes et élevées (scénarios RCP4.5 à 8.5), un plus grand nombre d'espèces ne pourront pas se déplacer suffisamment rapidement pour suivre les climats appropriés. En d'autres termes, la vitesse de déplacement des zones climatiques dépassera la vitesse maximale à laquelle de nombreux groupes d'organismes, dans de nombreuses situations, peuvent se déplacer ou migrer. Les populations qui ne peuvent pas suivre leur niche climatique, se retrouveront dans des climats défavorables, incapables d'atteindre des zones de climat potentiellement propices. Les espèces occupant de vastes paysages plats sont particulièrement vulnérables car elles doivent se déplacer sur des distances plus longues que celles des régions montagneuses pour suivre le changement de zones climatiques. Les espèces à faible capacité de déplacement seront également particulièrement vulnérables : par exemple, de nombreuses plantes (en particulier les arbres), de nombreux amphibiens et certains petits mammifères (figure A2). Les obstacles au déplacement, tels que la fragmentation de l'habitat, l'occupation antérieure d'habitat par des espèces concurrentes et les obstacles d'origine humaine tels que les barrages sur les rivières et les zones urbanisées sur la terre, réduisent la capacité des espèces à migrer vers des climats plus convenables. *A contrario*, le transport anthropique intentionnel et accidentel peut accélérer les déplacements.

Le dépérissement des forêts est un risque environnemental majeur, avec des impacts potentiellement importants sur le climat, la biodiversité, la production de bois, la qualité de l'eau, les loisirs et l'activité économique. Dans des études régionales détaillées menées en Amérique du Nord occidentale et boréale, la mortalité des arbres observée au cours des dernières décennies a été attribuée aux effets des températures élevées et de la sécheresse, ou à des conséquences indirectes du changement climatique tels que des changements dans la répartition et l'abondance des insectes nuisibles et des agents pathogènes. La mortalité des arbres et le dépérissement associé des forêts deviendront observables dans de nombreuses régions plus tôt que prévu.

La France connaît des trajectoires équivalentes. Dans les deux à trois prochaines décennies, les tendances thermiques et hydriques observées vont se poursuivre avec une hausse supplémentaire de température de +1 °C à +2 °C en métropole et une intensification des événements extrêmes tels que les vagues de chaleur et les sécheresses des sols.

Au-delà de 2050, l'évolution des conditions dépend des politiques climatiques prochainement mises en œuvre à l'échelle de la planète. Dans un scénario tendanciel, la hausse de température pourrait atteindre +4 °C, voire +5 °C à +6 °C en été avec une forte récurrence d'événements extrêmes de type vagues de chaleur pouvant durer plus d'un mois et s'étaler de fin mai à début octobre.

En matière de sécheresse des sols, les niveaux moyens attendus pourraient se situer au niveau des extrêmes observés aujourd'hui. Du point de vue hydrique, le cumul annuel ou saisonnier des précipitations est resté globalement stable malgré

une forte variabilité interannuelle à décennale. La sécheresse risquerait alors de ralentir la croissance des arbres et donc d'amoindrir la séquestration du carbone.

Dans ce contexte, le cycle hydrologique tend à se modifier avec un assèchement moyen des sols, notamment pendant la période de végétation avec une extension progressive de la durée des sols très secs au cœur de l'été. L'hydrologie de montagne est aussi influencée avec un enneigement plus variable à moyenne altitude et une fonte plus rapide du manteau neigeux au printemps associé à un assèchement plus marqué en fin d'été.

Le réchauffement global a aussi pour effet d'intensifier ce cycle hydrologique avec une évolution de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur, de la variabilité des précipitations, de l'augmentation de l'intensité des pluies extrêmes et des sécheresses des sols.

En plus des importants changements dus aux effets du réchauffement, les changements de précipitations induits modifieront considérablement les caractéristiques des régimes d'écoulement dans de nombreux cours d'eau et zones humides, ce qui aura une incidence écologique importante, et exacerbera les effets de l'utilisation d'eau par l'homme dans les bassins hydrographiques aménagés.

● *Impacts des événements météorologiques sur la biodiversité*

De même que pour les changements climatiques lents, modification de la température, modification des régimes de précipitations, les effets des événements météorologiques, qui se produisent de manière rapide et ponctuelle, sont principalement liés aux effets des températures extrêmes et aux effets de seuil atteint. Plus particulièrement visibles lors de l'épisode de canicule observé fin juin 2019, qui a été rendu cinq fois plus probable dans le contexte de changement climatique, les effets des températures extrêmes atteintes pendant cette canicule ont été très importants sur les plants encore au stade de croissance en cette fin de printemps. Par exemple, même les vignes adaptées aux climats les plus méridionaux ont été « comme brûlées au chalumeau » dans le département du Gard où les températures maximales ont dépassé de 1,9°C les records précédents avec une température de 46,0°C enregistrée le 28 juin 2019 à Vérargues (Hérault). Ce phénomène a également été observé dans des départements septentrionaux lors du second épisode de canicule de fin juillet 2019 (voir figure A3). De telles températures exceptionnelles dans le climat passé et présent pourraient devenir beaucoup plus fréquentes voire normales dans un futur proche.

Dans ce contexte, les conditions météorologiques propices aux feux sont devenues plus fréquentes dans les régions exposées comme les régions méditerranéennes de la France et ont commencé à gagner d'autres régions. L'indicateur surfacique de sensibilité météorologique aux feux de forêt (voir figure A4), s'il atteste des années les plus sévères comme 1976 ou 2003, témoigne également d'une accentuation de l'extension spatiale de la sensibilité, avec plus du tiers du territoire concerné par de telles conditions au cours de la dernière décennie.



Figure A3 – Vigne brûlée par la canicule de fin juillet 2019, domaine viticole Serge Rafflin, Chigny-les-Roses, Marne, Grand-Est.

© Denis Rafflin.



Figure A4 – Pourcentage de la surface touchée par des conditions propices aux départs de feux de forêts pour la France Métropolitaine.

© Météo-France.

Dans une atmosphère plus chaude, le contenu en eau est plus important. Les pluies extrêmes aussi sont devenues plus intenses notamment dans les régions méditerranéennes de la France avec des conséquences sur les risques d'inondation ou d'érosion des sols. Les risques liés aux tempêtes⁷² n'ont par contre pas augmenté avec une forte variabilité décennale (plus d'événements dans les années 1980 et aujourd'hui, moins dans les années 2000).

Cependant, en l'état des connaissances actuelles, il est difficile de conclure sur la fréquence et l'intensité des tempêtes et à l'évolution des vents violents associés que ce soit à l'horizon 2050 ou à l'horizon 2100.

Les différents types de Solution fondées sur la Nature définis par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN)

Justine Delangue,
Comité français de l'UICN

Les Solutions fondées sur la Nature (SfN) telles qu'elles sont définies par l'UICN se déclinent en trois types d'actions, qui peuvent être combinées dans les territoires :

- la préservation d'écosystèmes fonctionnels et en bon état écologique ;
- l'amélioration de la gestion d'écosystèmes pour une utilisation durable par les activités humaines ;
- la restauration d'écosystèmes dégradés ou la création d'écosystèmes.

Cette distinction est liée à un niveau d'intervention humaine croissant depuis la protection/préservation (faible niveau d'intervention) jusqu'à la création d'écosystèmes dans le cas de milieux complètement urbanisés par exemple (niveau d'intervention humaine très élevé). Cette distinction renvoie à la typologie proposée par Eggermont *et al.* (2015). Ces actions peuvent être combinées à d'autres types d'actions, technologiques ou infrastructures d'ingénierie civile.

72. <http://tempetes.meteofrance.fr/>

Perceptions et représentations des enjeux

Changement climatique et Solutions fondées sur la Nature : apports de la psychologie environnementale

Ghozlane Fleury-Bahi*
et Oscar Navarro,**

Université de Nantes, Laboratoire de Psychologie
des Pays de la Loire – LPPL
Association pour la recherche en psychologie
environnementale – ARPEnv

La psychologie environnementale permet d'appréhender les perceptions et les représentations ainsi que les stratégies d'adaptation liées aux enjeux du changement climatique et des Solutions fondées sur la Nature (SfN) en analysant les facteurs cognitifs et affectifs liés aux concepts (changement climatique, risques, connexion à la nature) et aux contraintes socio-économiques et culturelles des individus.

● *Stratégies d'adaptation liées aux représentations sociales du changement climatique*

Le changement climatique est un objet social complexe. La diffusion des connaissances scientifiques autour de ce phénomène reste relativement récente. Difficilement appréhendé localement car souvent présenté comme un phénomène global, il fait l'objet d'une communication sociale importante mais très souvent liée aux manifestations catastrophiques. Face aux enjeux liés au changement climatique, la psychologie environnementale propose une conception de l'individu en tant que sujet-acteur, socialement et culturellement situé, ayant une logique de maîtrise des situations, ce qui permet d'approfondir la connaissance de la logique qui sous-tend les pratiques et stratégies mises en place pour s'adapter aux effets du changement climatique. Face au constat des fragilités liées aux territoires, des recherches ont été menées visant à saisir l'appréhension du phénomène du changement climatique par les populations et notamment de leur capacité à s'adapter aux effets dudit phénomène. Une étude comparative France – Groenland sur les représentations sociales du changement climatique⁷³ met par exemple en évidence des éléments consensuels sur le fait que le changement climatique est réel et effectif à travers la hausse des températures et les bouleversements des phénomènes météorologiques. D'autre part, on observe des perceptions différenciées en fonction de l'ancrage géoclimatique des populations notamment au niveau des causes, de la perception des modifications du climat ou encore de la chronologie d'évolution environnementale. Dans cette étude, les représentations

* Directrice LPPL.

** Président ARPEnv.

73. Michel-Guillou et al., (2017).

sociales viennent expliquer comment ces populations mettent en place des stratégies d'adaptation similaires mais ponctuelles car elles sont liées à une incapacité de projection temporelle dans un environnement incertain. Ainsi, les citoyens caractérisent le changement climatique spécialement par l'augmentation des tempêtes et les variations de la météo⁷⁴.

D'autres travaux ont cherché à comparer les représentations sociales du changement climatique dans deux populations résidant sur des territoires littoraux caribéens exposées au risque de submersion marine : à Carthagène en Colombie et en Guadeloupe⁷⁵. Les résultats montrent l'existence d'une représentation sociale du changement climatique similaire dans les deux territoires qui s'organise autour d'éléments tels que la hausse des températures en tant qu'effet caractéristique du changement climatique, et la déforestation comme étant la cause principale du changement climatique. De façon générale, la littérature montre que les personnes qui affirment avoir vécu une inondation et habitent dans des lieux exposés à ce type de menace sont celles qui perçoivent davantage le risque comparativement à celles qui n'ont jamais vécu directement une catastrophe. C'est pourquoi il est possible de penser l'existence d'un lien entre conception du changement climatique comme un phénomène réel et concret et l'expérience du risque ou la vulnérabilité face aux effets du changement climatique.

En ce sens, 93% des Français affirment que le réchauffement climatique est en cours et est causé par les activités humaines ; 44% estiment que les comportements individuels représentent une solution efficace pour lutter contre le réchauffement climatique⁷⁶. Cependant, d'autres travaux montrent que les individus percevraient la menace du changement climatique comme étant lointaine dans le temps et l'espace⁷⁷. Selon cette approche, l'individu se représenterait mentalement le changement climatique en fonction de son degré d'abstraction, en soulignant le fait que les phénomènes environnementaux liés au changement climatique seraient généralement perçus comme étant abstraits, c'est-à-dire distants⁷⁸. Cette approche fait référence à une sorte de « distance psychologique » qui dépend du degré d'abstraction cognitive-affective et est modulée par quatre barrières interdépendantes : spatiale, sociale, temporelle, et liée au caractère incertain de l'objet. Ainsi, concernant les effets du changement climatique, l'individu aurait tendance à évaluer ses effets négatifs comme étant lointains d'un point de vue temporel, spatial et social. Les travaux portant sur la distance psychologique montrent que le fait de percevoir un événement comme étant concret conduit les individus à s'adapter à cette problématique environnementale. Des travaux montrent qu'une faible distance psychologique va de pair avec une perception du risque plus forte. Cependant ces travaux font également état d'un paradoxe : l'expérience directe d'un effet du changement climatique, comme les inondations par exemple, n'a

74. Bertoldo *et al.*, (2011).

75. Navarro O., Projet ANR-CLIMATRISK.

76. IPSOS, (2015).

77. Pidgeon *et al.*, (2012).

78. Milfont T., (2010).

pas d'influence sur la perception du changement climatique. Ceci s'explique parce que les individus ne font pas systématiquement le lien entre le risque (ex. : inondation) et le changement climatique, autrement dit, entre la cause et l'effet⁷⁹. Il paraît ainsi important d'une part de réduire la distance psychologique vis-à-vis du risque et d'autre part de faire comprendre le lien entre le risque et le changement climatique de sorte que les individus puissent avoir une meilleure perception des risques associés et des adaptations à mettre en place.

Certaines populations sont quotidiennement exposées aux aléas et doivent ainsi élaborer des stratégies pour y faire face. De ce point de vue, certains travaux indiquent que l'on peut distinguer des mécanismes cognitifs et affectifs influençant l'intention d'agir pour se protéger face aux risques⁸⁰. Une diminution de la perception de la probabilité d'occurrence (aspect cognitif) ainsi qu'une diminution de la peur (aspect affectif), expliquent une réduction de l'intention d'action de protection face aux risques liés au changement climatique. En psychologie, les stratégies de faire face (ou *coping* en anglais) rendent compte des actes et des pensées de l'individu face à une situation menaçante et constituent un facteur stabilisateur permettant au sujet de maintenir une adaptation psychologique. Ces stratégies résultent d'une évaluation des compétences cognitives et affectives du sujet, ainsi que de l'évaluation qu'il fait de la menace et du contexte. Deux types de stratégies de faire face sont reconnus dans la littérature : des stratégies dites actives ou dirigées vers la solution du problème, et des stratégies dites passives ou dirigées vers la gestion des émotions négatives. Ainsi, il a été montré que le fait de percevoir le changement climatique comme étant proche aux niveaux social et temporel amènerait l'individu à davantage accepter le phénomène et à moins le minimiser. De même, le fait de percevoir le changement climatique comme un phénomène certain amènerait les individus à utiliser des stratégies portant sur la résolution du problème et à moins déclarer de stratégies d'évitement. Ainsi, lorsque les individus ne remettent pas en question le phénomène, ils s'y adapteraient davantage⁸¹.

● *Stratégies d'adaptation liées aux représentations de la Nature*

Une autre approche s'est intéressée à comprendre comment la position sociale ainsi que le système de valeurs des individus déterminent la façon d'appréhender les risques liés au changement climatique, inspirée de la théorie culturelle de Mary Douglas. Quatre représentations de la Nature sont ainsi identifiées : Nature bienveillante, Nature tolérante, Nature éphémère, Nature capricieuse⁸². Les recherches montrent que les tenants d'une représentation éphémère de la nature sont ceux qui évaluent le plus gravement les risques liés au changement climatique. Ils s'opposent à ceux qui se représentent la nature comme bienveillante et

79. Navarro *et al.*, (2019).

80. Siegrist *et al.*, (2005); Terpstra T., (2011).

81. Evans *et al.*, (2014).

82. Poortinga *et al.*, (2003).

perçoivent ces risques comme plus faibles. Cette approche a l'intérêt de montrer qu'il existe différentes conceptions de la Nature, exprimant des liens différenciés avec celle-ci. Ainsi, il est important de remarquer qu'en général les sociétés naturalistes⁸³ utilisent la Nature pour expliquer et donner du sens à la vie. Le concept de connexion avec la Nature cherche en effet à mettre en évidence un sentiment de parenté ainsi qu'une expérience individuelle affective d'union avec la Nature⁸⁴. Des travaux mettent également en lumière les effets positifs que le contact avec certains milieux naturels a sur la santé et le bien-être⁸⁵. Ainsi, le concept de « restauration psychologique » est proposé, exprimant le fait que les expériences restauratrices sont celles qui engendrent une rénovation des ressources psychologiques épuisées (mémoire, attention...). D'autres travaux ont montré qu'adopter une attitude pro-environnementale et avoir un comportement écologiquement responsable est favorable à l'individu qui expérimente en retour un bien-être émotionnel⁸⁶. De la même manière, on observe une augmentation des niveaux de connexion avec la Nature après avoir participé à diverses activités en milieu naturel⁸⁷, car la Nature a un effet de médiation dans l'augmentation des états émotionnels positifs, conséquence de ces expériences. Ainsi, des travaux ont montré que la connexion avec la Nature favorise la mise en place de comportements écologiques et le bien-être personnel⁸⁸.

● *Leviers et freins à l'adoption de stratégies d'adaptation fondées sur la Nature*

Ces travaux ouvrent la voie pour mieux comprendre les leviers et les freins de l'adoption ou du rejet des SfN, études qui sont en effet très rares encore aujourd'hui. Une étude qualitative menée avec des résidents de la ville de Nantes⁸⁹ révèle que le discours sur la question est organisé selon cinq classes thématiques : connexion à la Nature, Nature et bien-être psychologique, liens territoriaux et sociabilité, sécurité et incivilités et pratiques sociales, sports et activités de loisirs. Il ressort des résultats que les SfN sont principalement associées à des dimensions positives de la qualité de vie, avec une prédominance de la dimension sociale et de la sociabilité. Définies comme des solutions aux enjeux sociaux, inspirées et soutenues par la Nature, ces SfN doivent permettre d'aider à la résilience environnementale, sociale et économique des territoires et visent également à maintenir et

83. D'après la typologie des différentes ontologies (manières d'être au monde) dressée par Philippe Descola dans *Par-delà nature et culture*, publié en 2005, les sociétés « modernes » vivant sur le modèle occidental globalisé sont des « collectifs » (sociétés) naturalistes. Ces sociétés conçoivent leurs rapports aux collectifs non-humains (animaux non-humains, végétaux, minéraux, esprits, divinités, artefacts...), c'est-à-dire ce qu'elles appellent la « nature », par l'intermédiaire de la culture perçue comme extérieure. En d'autres termes, les sociétés naturalistes considèrent une séparation entre nature et culture, ce qui n'est pas forcément le cas pour les autres sociétés.

84. Mayer *et al.*, (2004).

85. Kaplan, (2001).

86. Amérgo *et al.*, (2013).

87. Olivos *et al.*, (2013).

88. Navarro *et al.*, (2019).

89. Lemée *et al.*, (2019).

encourager la biodiversité dans les espaces urbains de façon durable⁹⁰. La création et le maintien de systèmes végétaux existants ou d'infrastructures vertes et leur incorporation dans un système plus large de SfN à l'échelle urbaine devraient permettre de mieux maîtriser les enjeux climatiques et sociaux à l'échelle des villes⁹¹. Pour autant, la seule capacité de ces SfN à répondre de façon effective à ces enjeux ne suffit pas à garantir leur pérennité.

Un soutien et une compréhension de ces solutions par les populations restent nécessaires à leur maintien et à leur efficacité. Ainsi, si les parcs, les jardins publics et les systèmes végétaux reposant sur le végétal en ville sont reconnus pour réduire la température, un tel effet n'est directement appréciable par les populations que lors d'épisodes de vagues de chaleur. D'autres SfN comme les espaces bleus, jardins collectifs ou structures végétalisées qui sont conçus comme éléments urbains susceptibles d'accueillir un public, ne sont pas nécessairement perçus comme des SfN. Les toits et surfaces végétalisés, par exemple, sont reconnus pour leurs effets bénéfiques lors des épisodes de fortes chaleurs en ville, mais ils ne sont pas spontanément perçus par les participants à l'étude menée avec la ville de Nantes comme éléments de Nature en ville ou comme éléments susceptibles d'améliorer leur qualité de vie. Une telle absence de liens entre ces éléments laisse à penser que les toits et surfaces végétalisés sont peu visibles ou connus, ou qu'ils ne sont pas perçus comme naturels par les participants. Un autre élément important est la prédominance de la dimension sociale de la Nature en ville. Les enquêtes identifient les parcs et jardins comme des espaces conviviaux, permettant de retrouver son entourage, de s'adonner à des activités de loisirs ou à des pratiques sportives.

Mais les enjeux de sécurité et d'incivilité apparaissent comme des préoccupations des habitants à propos de certaines SfN. En effet, certains habitants relèvent des problèmes d'insécurité notamment la nuit dans les parcs, ainsi que des incivilités et des problèmes de gestion des déchets.

Ainsi l'efficacité de ces solutions dépend de la façon dont les individus perçoivent et s'approprient ces infrastructures vertes, y compris durant des périodes où leurs bénéfices sont moins facilement perceptibles.

Par ailleurs, en ayant des effets positifs sur la santé physique et psychologique et sur la construction des liens sociaux au niveau local, les éléments végétaux en ville et la biodiversité qui leur est associée pourraient constituer des éléments favorables à la mise en place de démarches d'adaptation au changement climatique individuelles ou collectives.

90. *European Commission*, (2016).

91. *Emilsson et al.*, (2017).

Chapitre B

Cadre politique, juridique et normatif

© Arnaud Bouissou/Terra.



Le cadre politique mondial dans lequel s'insèrent les Solutions fondées sur la Nature¹

Sarah Voirin,

Observatoire national sur les effets
du réchauffement climatique

● Introduction

Si le concept récent de Solutions fondées sur la Nature (SfN) est rarement mentionné en tant que tel dans les accords internationaux, il peut trouver un ancrage par l'intermédiaire des approches fondées sur les écosystèmes. Le recours aux approches fondées sur les écosystèmes est en effet déjà promu dans de nombreux régimes internationaux encadrés par des conventions et organisations internationales et notamment avec des objectifs d'adaptation au changement climatique.

● Régime international de coopération sur le climat

Le régime international de coopération sur le climat est encadré par la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC)², adoptée en 1992 au Sommet de la Terre à Rio de Janeiro et entrée en vigueur le 21 mars 1994. La CCNUCC fait partie des «Conventions de Rio», avec la Convention sur la diversité biologique (CDB), et la Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification (CLD), conventions qui sont intrinsèquement liées. Les 197 pays qui ont ratifié la CCNUCC sont appelés parties à la Convention.

C'est à travers les discussions initiées en 2008 (COP14) autour du concept d'adaptation fondée sur les écosystèmes (*Ecosystem-based Adaptation – EbA*), défini ultérieurement par la CDB³, que les parties à la CCNUCC ont commencé à faire le lien entre l'adaptation au changement climatique et les écosystèmes. Et c'est dans le cadre des accords de Cancún⁴ de 2010 que le lien entre l'adaptation au changement climatique et les écosystèmes est ancré dans une décision⁵ de la Conférence des parties (COP16). Cette mention, même si elle est passée inaperçue par le grand public, représente alors un mandat de la communauté internationale d'agir en ce sens et a permis à plusieurs acteurs de la coopération internationale de démarrer leurs travaux dans le domaine des SfN.

1. La liste des régimes internationaux de coopération et des conventions et décisions internationales susceptibles d'aborder les Solutions fondées sur la Nature présentée ici n'est pas exhaustive.

2. <https://unfccc.int/>

3. CDB, (2009).

4. <https://unfccc.int/process/conferences/pastconferences/Cancun-climate-change-conference-november-2010/statements-and-resources/Agreements>

5. La COP affirme que «l'action renforcée pour l'adaptation devrait être engagée [...] prenant en considération [...] les écosystèmes vulnérables [...]». (Décision 1/CP.16, paragraphe 12).

Les accords sont constitués de deux textes : l'un actant la poursuite du protocole de Kyoto au-delà de 2012 et l'autre regroupant un ensemble de résolutions et de mécanismes concernant le fonctionnement de la CCNUCC dans les domaines de la finance, la technologie, le soutien au renforcement de capacités. Ces accords débouchent notamment sur l'adoption d'un cadre d'action spécifique pour l'adaptation. L'objectif du cadre d'adaptation de Cancún est de renforcer l'action en matière d'adaptation notamment à travers la coopération internationale et la prise en compte cohérente des enjeux liés à l'adaptation sous la Convention. Le but ultime visé par le renforcement de l'action en matière d'adaptation est de réduire la vulnérabilité et d'accroître la résilience de toutes les parties.

Suite à l'impulsion donnée par les accords de Cancún, le Programme de travail de Nairobi (*Nairobi Work Programme – NWP*) établi en 2005 (COP11) a amorcé un travail sur les écosystèmes. Le NWP est un mécanisme pour faciliter et catalyser le développement, la dissémination et l'utilisation des connaissances permettant d'informer et de soutenir les politiques et pratiques d'adaptation.

Lors de la COP17 les parties ont demandé au secrétariat de la CCNUCC d'organiser en collaboration avec les organisations partenaires du NWP et d'autres organisations concernées un atelier technique sur les approches de l'adaptation fondées sur les écosystèmes⁶. Cet atelier organisé en 2013 a fait l'objet d'un rapport qui dresse un état des réflexions sur les approches écosystémiques de l'adaptation⁷. Les discussions dans le cadre de cet atelier se sont appuyées sur la définition de l'« adaptation fondée sur les écosystèmes » de la Convention sur la diversité biologique :

« L'adaptation fondée sur les écosystèmes, qui intègre l'utilisation de la diversité biologique et les services des écosystèmes à une stratégie globale d'adaptation, peut être rentable et une source d'avantages mutuels sociaux, économiques et culturels tout en contribuant à la conservation de la diversité biologique. Elle incorpore la diversité biologique et les services des écosystèmes dans une stratégie globale d'adaptation. Elle a recours à la gestion durable, la conservation et la restauration des écosystèmes afin de fournir des services qui aident les populations à s'adapter aux conséquences négatives des changements climatiques. »⁸ Cet atelier a permis aux participants d'examiner le rôle des écosystèmes dans l'adaptation et les avantages des approches écosystémiques de l'adaptation. Cet examen a fait ressortir des enjeux clés tels que la nécessité de distinguer les approches

6. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2011/cop17/fre/09a02f.pdf>

7. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2013/sbsta/fre/02f.pdf>

8. CDB, (2009).

écosystémiques de l'adaptation des autres approches de l'adaptation⁹ et l'importance du recours à la gestion adaptative dans les arbitrages¹⁰.

Le NWP a continué son travail¹¹ sur le sujet avec la production de documents depuis 2014 tels qu'une synthèse des études de cas sur les bonnes pratiques concernant les processus de planification de l'adaptation qui intègrent les écosystèmes, un rapport de synthèse sur les méthodes et outils relatifs à ces processus. Un réseau informel d'une trentaine d'organisations concernées par l'adaptation fondée sur les écosystèmes, dont l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) qui en assure le secrétariat, s'est également formé depuis 2016 dans le cadre du NWP. Ce réseau appelé les « Amis de l'adaptation fondée sur les écosystèmes » (*Friends of Ecosystem-based Adaptation – FEBA*)¹², s'est développé dans l'optique de promouvoir une collaboration et un partage de connaissances, de mobiliser des partenaires, de produire des rapports de synthèse et d'organiser un *side event* conjoint avec le groupe d'expert des pays les moins avancés (*Least developed countries expert group – LEG*)¹³ pour discuter de la manière dont les communautés et écosystèmes vulnérables pourraient être mieux intégrés dans la planification et la mise en œuvre de l'adaptation au niveau national. Par la suite, le LEG a produit un papier technique concernant le lien entre les groupes, communautés et écosystèmes vulnérables et l'adaptation au changement climatique avec l'aide des partenaires du NWP. Depuis 2019 les travaux des partenaires du NWP se poursuivent sur les indicateurs et métriques d'évaluation des progrès dans l'adaptation des groupes, communautés et écosystèmes vulnérables dans l'optique de contribuer aux travaux du LEG sur les orientations et conseils techniques pour renforcer la prise en compte des groupes, communautés et écosystèmes vulnérables dans les plans nationaux d'adaptation au changement climatique. La CCNUCC dispose également d'une base de données sur les approches fondées sur les écosystèmes pour l'adaptation au changement climatique¹⁴ aujourd'hui incluse dans le portail de connaissances sur l'adaptation¹⁵.

9. « Les participants ont débattu de la nécessité de bien cerner les différences et les synergies entre les approches écosystémiques de l'adaptation et d'autres approches de l'adaptation. À la différence des autres approches de l'adaptation, les approches écosystémiques de l'adaptation présentent des synergies avec la réduction des risques de catastrophe, la gestion locale des ressources naturelles, les stratégies intégrées de préservation et l'adaptation locale face aux changements climatiques. Des écosystèmes bien gérés et résilients, et les services qu'ils fournissent, contribuent à réduire la vulnérabilité des populations aux effets des changements climatiques avant, pendant et après ces changements. En étayant les moyens de subsistance, les écosystèmes réduisent également l'exposition à certains risques en faisant office de zones tampon naturelles et en réduisant la vulnérabilité. » Voir paragraphe 23 du Rapport sur l'atelier technique sur les approches écosystémiques de l'adaptation aux changements climatiques, Note du Secrétariat, Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, (2013).

10. « Ces arbitrages devraient être décidés avec les parties prenantes et déterminés autant que possible en ayant recours à la gestion adaptative pour tenir compte des changements de priorités. » Voir paragraphe 25 du Rapport sur l'atelier technique sur les approches écosystémiques de l'adaptation aux changements climatiques, Note du Secrétariat, Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, (2013).

11. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/sbsta2019_inf1.pdf

12. <https://www.iucn.org/theme/ecosystem-management/our-work/ecosystem-based-approaches-climate-change-adaptation/friends-eba-feba>

13. <https://unfccc.int/process/bodies/constituted-bodies/least-developed-countries-expert-group-leg>

14. <http://www4.unfccc.int/sites/nwp/pages/Search.aspx>

15. <https://www4.unfccc.int/sites/NWPStaging/pages/home.aspx>

Cette base de données, créée dans le cadre du NWP, fournit des exemples d'approches écosystémiques de l'adaptation.

Parallèlement, les parties à la CCNUCC se sont intéressées aux approches fondées sur les écosystèmes dans le cadre du traitement des risques et impacts liés aux événements extrêmes et aux événements climatiques à évolution lente. Contrairement aux événements à évolution rapide qui peuvent se produire de manière isolée en l'espace de quelques jours voire de quelques heures tels que de nombreux événements extrêmes, les événements climatiques à évolution lente évoluent graduellement à partir de changements incrémentaux qui se produisent durant plusieurs années ou à partir d'une augmentation de fréquence ou d'intensité d'événements récurrents¹⁶. Sous la CCNUCC les événements climatiques à évolution lente rassemblent l'augmentation de la température, la désertification, la perte de biodiversité, la dégradation des terres et des forêts, le retrait des glaciers, l'acidification des océans, l'augmentation du niveau des mers et la salinisation. En 2013, la 19^e Conférence des parties (COP19) établit le Mécanisme international de Varsovie relatif aux pertes et préjudices¹⁷, mandatant le Comité Exécutif (Excom) de guider sa mise en œuvre. Le Mécanisme de Varsovie vise à traiter les enjeux des pertes et préjudices relatifs aux impacts du changement climatique incluant les événements extrêmes et les événements à évolution lente dans les pays en développement qui sont particulièrement vulnérables aux effets négatifs du changement climatique. Le programme de travail initial de deux ans de l'Excom comprend neuf domaines d'action dont un sur les événements climatiques à évolution lente. Un papier technique de la CCNUCC de 2012 sur les événements à évolution lente¹⁸ reconnaît le rôle des approches fondées sur les écosystèmes comme particulièrement approprié pour traiter les événements et processus à évolution lente parce qu'elles impliquent des stratégies de long terme pour construire la résilience.

En 2015 (COP 21), un tournant décisif a été pris en matière d'adaptation avec l'adoption de l'accord de Paris. L'accord de Paris enjoint les parties à se mobiliser pour limiter l'augmentation de la température moyenne mondiale induite par les activités humaines à 2°C, et même de rester en dessous de 1,5°C dans la mesure du possible, comparé aux niveaux pré-industriels. L'article 7 de l'accord de Paris fixe un objectif mondial en matière d'adaptation au changement climatique qui consiste à : « Renforcer les capacités d'adaptation, à accroître la résilience aux changements climatiques et à réduire la vulnérabilité à ces changements, en vue de contribuer au développement durable et de garantir une riposte adéquate en matière d'adaptation » (paragraphe 1). Si l'article 7 ne fait pas référence aux approches fondées sur les écosystèmes il insiste néanmoins sur le fait que l'adaptation contribue à la protection des écosystèmes vulnérables (paragraphe 2).

16. Siegele L., (2012).

17. <https://unfccc.int/topics/adaptation-and-resilience/workstreams/loss-and-damage-ld/warsaw-international-mechanism-for-loss-and-damage>

18. UNFCCC, (2012).

Le Comité d'adaptation¹⁹ intègre la considération des SfN dès que ses travaux s'y prêtent. Le dernier exemple en date du 16 août 2019 est le rapport du comité d'adaptation sur les approches variées qui existent pour la planification de l'adaptation à long terme²⁰. Ce travail inclut un chapitre dédié aux approches fondées sur les écosystèmes qui souligne leur importance en particulier pour les populations qui dépendent directement des ressources naturelles.

En même temps que la considération multiple de ce sujet sous la CCNUCC (Comité d'adaptation, Programme de travail de Nairobi, les travaux concernant les circonstances où surviennent des pertes et dommages, Groupe d'experts pour les pays les moins avancés et le soutien de telles solutions par les différents fonds du mécanisme financier de la CCNUCC) ces travaux illustrent l'acceptation et l'ancrage général des SfN parmi les outils dont disposent les acteurs de l'adaptation aujourd'hui pour agir face au changement climatique.

● *Régime international de coopération sur la biodiversité*

En 2000 (COP5), les parties à la Convention sur la diversité biologique (CDB)²¹ ont approuvé l'« approche écosystémique »²² et ont recommandé sa mise en application. L'approche écosystémique est définie par la CDB comme « une stratégie de gestion intégrée des terres, des eaux et des ressources vivantes, qui favorise la conservation et l'utilisation durable d'une manière équitable ».

En 2004 (COP7), les parties ont identifié l'« approche écosystémique » comme un outil pour faciliter l'atténuation et l'adaptation au changement climatique et qui contribue également à la conservation et à l'usage durable de la biodiversité. Elles se sont également accordées pour que sa mise en œuvre devienne une priorité en faisant de l'« approche écosystémique » le cadre principal de l'action menée sous la Convention.

En 2010 (COP10), les parties ont adopté la « Décision X/33 – Diversité biologique et changements climatiques »²³ où les approches fondées sur les écosystèmes pour l'adaptation sont mises en avant pour la gestion durable, la conservation et la restauration des écosystèmes, en tant que partie intégrante d'une stratégie d'adaptation. Lors de cette conférence, les parties ont également adopté le Plan stratégique de la CDB 2011-2020 fixant les « Objectifs d'Aichi pour la biodiversité » dont l'Objectif 15 qui porte notamment sur la contribution de la conservation et de la restauration des écosystèmes à l'adaptation au changement climatique²⁴.

19. <https://unfccc.int/process/bodies/constituted-bodies/adaptation-committee-ac>

20. <https://unfccc.int/documents/199404>

21. <https://www.cbd.int/>

22. <https://www.cbd.int/ecosystem/description.shtml>

23. <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-10/cop-10-dec-33-fr.pdf>

24. <https://www.cbd.int/doc/strategic-plan/2011-2020/Aichi-Targets-FR.pdf>

En 2014 (COP12), les parties se sont accordées pour encourager la promotion de l'adaptation fondée sur les écosystèmes (EbA) dans la « Décision XII/20 – Diversité biologique, changements climatiques et réduction des risques de catastrophe naturelle »²⁵.

En 2018 (COP14), les parties ont adopté les « Lignes directrices facultatives pour la conception et l'application effective des approches écosystémiques d'adaptation aux changements climatiques et de réduction des risques de catastrophe naturelle »²⁶ dans le cadre de la « Décision 14/5 – Diversité biologique et changements climatiques »²⁷. Ces lignes directrices facultatives doivent permettre de renforcer les liens entre la biodiversité, les écosystèmes, l'adaptation au changement climatique et la réduction des risques de catastrophe.

La Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification (CNULCD)²⁸ est le cadre mondial pour s'attaquer aux enjeux de la dégradation des terres et de la désertification et c'est le seul accord international légalement contraignant dans le domaine de la gestion durable des terres.

En 2007 (COP8), les parties ont adopté le Plan-cadre stratégique décennal visant à renforcer la mise en œuvre de la convention (2008-2018) qui vise à enrayer et à prévenir la dégradation des terres et la désertification et qui reconnaît spécifiquement le rôle des services écosystémiques, en particulier des écosystèmes des terres arides dans l'atténuation de la sécheresse et la prévention de la désertification.

En 2015 (COP12), les parties ont reconnu l'importance de la Convention pour atteindre les Objectifs du Développement Durable et, plus particulièrement, la cible 15.3 relative à la neutralité en matière de dégradation des terres (Land Degradation Neutrality – LDN)²⁹. La neutralité en matière de dégradation des terres implique que la quantité de terre en bonne santé et productive reste stable à horizon 2030.

À la COP12, les parties se sont également accordées sur le développement d'indicateurs pour mesurer les progrès dans la LDN, pour mettre en valeur la résilience des terres au changement climatique et pour la perte de biodiversité liée à la dégradation des écosystèmes.

En 2017 (COP13), les parties se sont accordées sur le Cadre stratégique de la Convention 2018-2030 qui constitue l'engagement international le plus complet pour la dégradation des terres. Par ailleurs les cadres stratégiques adoptés en 2007 et 2017 intègrent tous deux des objectifs stratégiques pertinents pour l'adaptation au changement climatique.

25. <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-12/cop-12-dec-20-fr.pdf>

26. <https://www.cbd.int/doc/c/3f7a/4589/5cc1b7058bf52427fa9bae84/sbstta-22-inf-01-en.pdf>

27. <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-14/cop-14-dec-05-en.pdf>

28. <https://www.unccd.int/>

29. <https://www.unccd.int/actions/impact-investment-fund-land-degradation-neutrality>

La Convention de Ramsar³⁰ est un accord international non contraignant qui fournit un cadre pour l'action nationale et la coopération internationale dans le domaine de la conservation et de l'usage raisonné des zones humides et de leurs ressources.

En 2002 (COP8) les parties ont adopté la « Résolution VIII.35 – Les effets des catastrophes naturelles, en particulier la sécheresse, sur les écosystèmes des zones humides »³¹ et en 2005 (COP9) la « Résolution IX.9 – Le rôle de la Convention de Ramsar sur la prévention et l'atténuation des impacts associés aux phénomènes naturels, y compris ceux qui sont induits ou exacerbés par les activités anthropiques »³² qui reconnaissent indirectement le rôle des écosystèmes des zones humides dans l'adaptation au changement climatique.

En 2008 (COP10), les parties ont adopté la « Résolution X.24 – Les changements climatiques et les zones humides »³³ qui affirme le rôle des zones humides en bonne santé dans l'accroissement de la résilience au changement climatique.

● *Régime international de coopération sur les risques et catastrophes naturels*

Le Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030³⁴ a été adopté en 2015 à la 3^e Conférence internationale des Nations unies sur la réduction des risques de catastrophe succédant ainsi au Cadre d'action de Hyogo 2005-2015. Il appelle les parties à réduire les risques de catastrophe et à bâtir les conditions de la résilience, en reconnaissant le changement climatique comme un des facteurs de risques de catastrophe. Il reconnaît également la gestion durable des écosystèmes comme une des voies pour construire cette résilience face aux catastrophes. Le Cadre d'action de Sendai reconnaît le rôle des écosystèmes et de l'environnement en tant qu'enjeu transversal dans la réduction des risques de catastrophes. Les écosystèmes doivent être pris en compte dans l'estimation du risque (Action prioritaire 1), dans la gouvernance du risque (Action prioritaire 2), dans l'investissement dans la résilience (Action prioritaire 3).

En 2007, l'Assemblée générale des Nations unies a lancé la Plateforme mondiale pour la réduction des risques de catastrophe³⁵. Il s'agit d'un forum bisannuel multipartenaires ayant pour but d'évaluer et de passer en revue les progrès dans la mise en œuvre de l'Agenda international pour la réduction des risques de catastrophe et de servir de plateforme pour les gouvernements et les parties prenantes afin de partager des bonnes pratiques, d'identifier des lacunes et de faire des recommandations pour accélérer la mise en œuvre. Cette plateforme est un composant essentiel du processus de suivi et de mise en œuvre du Cadre d'action de Sendai. En 2019 (COP6), le Résumé de l'événement du Secrétariat

30. <https://www.ramsar.org/>

31. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/key_res_viii_35_f.pdf

32. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/res/key_res_ix_09_f.pdf

33. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/key_res_x_24_f.pdf

34. <https://www.unisdr.org/we/coordinate/sendai-framework>

35. <https://www.unisdr.org/conference/2019/globalplatform/home>

adopté par les parties, qui comporte des recommandations pour conduire une revue à mi-parcours du Cadre d'action de Sendai et pour que la réduction des risques de catastrophe soit pleinement intégrée à la mise en œuvre des Objectifs du Développement Durable, inclut le recours à des approches fondées sur les écosystèmes et l'adoption de SfN pour le développement d'infrastructures résilientes aux catastrophes.

Le Partenariat mondial pour l'environnement et la réduction des risques de catastrophe³⁶ établis en 2008 est une alliance mondiale entre des agences de l'ONU, des ONG internationales et régionales et des instituts scientifiques et techniques. Il soutient les pays, les parties prenantes concernées et les communautés locales en promouvant la gestion des écosystèmes comme la stratégie clé pour l'adaptation au changement climatique et la réduction des risques de catastrophe. Son objectif est de promouvoir et de renforcer la mise en œuvre de la réduction des risques de catastrophe fondée sur les écosystèmes et d'assurer l'intégration de cette approche dans la planification aux niveaux international, national et local en cohérence avec le Cadre d'action de Sendai.

● *Régime international de coopération sur le développement*

L'Agenda 2030 des Objectifs du Développement Durable (ODD)³⁷ porte explicitement sur l'enjeu de la lutte contre le changement climatique par le biais de l'augmentation de la résilience de la société et des écosystèmes (ODD 13) et aborde également la nécessité de protéger et de restaurer les écosystèmes marins et terrestres, de combattre la désertification et de mettre un terme à la dégradation des terres et à la perte de biodiversité (ODD 14 et 15).

● *Régime international de coopération sur l'urbanisme*

Le Nouveau Programme pour les Villes³⁸ a été adopté en octobre 2016 à la Conférence des Nations unies sur le logement et le développement urbain durable (Habitat III) et approuvé en décembre 2016 par l'Assemblée générale des Nations unies. Le Nouveau Programme pour les Villes est un accord non contraignant qui fixe des critères mondiaux de réussite en matière de durabilité et de développement urbain résilient. Cela inclut la Déclaration de Quito sur les villes et les établissements humains viables pour tous et le Plan de Quito relatif à la mise en œuvre du Nouveau Programme pour les Villes. Le Plan de Quito met en évidence le rôle des écosystèmes pour l'adaptation au changement climatique dans une série d'engagements :

- « Nous nous engageons à faciliter la gestion durable des ressources naturelles dans les villes et les établissements humains, de manière à protéger et à améliorer l'écosystème urbain et les services environnementaux [...] » (paragraphe 65);

36. <http://pedrr.org/>

37. <https://sustainabledevelopment.un.org/>

38. <http://habitat3.org/the-new-urban-agenda/>

- « Nous nous engageons à préserver et à promouvoir les fonctions écologiques et sociales des terres, notamment des zones côtières qui accueillent des villes et des établissements humains, ainsi qu'à promouvoir des solutions qui tiennent compte des écosystèmes et favorisent ainsi des modes de consommation et de production durables, de manière à ce que les capacités de régénération des écosystèmes ne soient pas dépassées » (paragraphe 69);
- « Nous nous engageons à renforcer la gestion durable des ressources, telles que les terres, les eaux (mers, océans et eau douce), [...] les forêts [...] tout en facilitant la conservation, la régénération, la reconstitution et la résilience des écosystèmes face aux nouveaux défis » (paragraphe 71);
- « Nous nous engageons à renforcer la résilience des villes et des établissements humains grâce à [...] des initiatives tenant compte des écosystèmes » (paragraphe 77);
- « Nous nous engageons à soutenir la planification de l'adaptation à moyen et à long terme, ainsi que l'évaluation de la vulnérabilité des villes au climat et à ses effets, en vue de renseigner les plans, les politiques, les programmes et les mesures d'adaptation qui visent à renforcer la résilience des populations urbaines, notamment en s'appuyant sur les écosystèmes » (paragraphe 80).

• *Régime international de coopération sur l'alimentation et l'agriculture*

Le régime international de coopération sur l'alimentation et l'agriculture est encadré par l'Organisation des Nations unies sur l'alimentation et l'agriculture (Food and Agriculture Organization – FAO)³⁹. Fondée en 1945 avec pour objectif d'atteindre la sécurité alimentaire et de garantir l'accès régulier des populations à une nourriture de haute qualité. Son action est structurée par le développement et le partage des connaissances et techniques pour l'amélioration des systèmes alimentaires et agricoles. Depuis plusieurs années la FAO promeut les approches fondées sur les écosystèmes et notamment pour l'adaptation et la résilience des systèmes alimentaires et agricoles face aux impacts du changement climatique. En 2011, la FAO promeut le paradigme de l'agriculture intensive durable afin de verdir la Révolution verte à travers des approches fondées sur les écosystèmes. Ces approches s'appuient sur les contributions de la nature à la croissance des cultures telles que la matière organique du sol, la régulation du cycle de l'eau, la pollinisation et le contrôle organique des insectes ravageurs et des maladies. En 2017, la FAO s'est dotée d'une stratégie sur le changement climatique dont l'un des principes directeurs est de promouvoir des approches fondées sur les écosystèmes. La FAO considère que l'intégration de la protection de la biodiversité et des services écosystémiques dans les stratégies d'adaptation à travers des approches agroécologiques, la conservation et l'usage durable des ressources génétiques pour l'agriculture et l'alimentation accroît la résilience des systèmes humains et naturels face aux impacts du changement climatique tout en fournissant des bénéfices à la société et à l'environnement.

39. <http://www.fao.org/home/fr/>

La FAO promeut également les approches fondées sur les écosystèmes dans le cadre de la Commission sur les ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture (CRGAA)⁴⁰. La CRGAA, créée en 1983, avait pour objectif initial de rechercher un consensus international sur les politiques pour l'usage durable et la préservation des ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture (RGAA) et le partage juste et équitable des bénéfices dérivés de leur usage. Puis en 1995 son mandat a été élargi à tous les enjeux relatifs à la biodiversité pertinents pour l'alimentation et l'agriculture. En 2007 la CRGAA a reconnu les approches fondées sur les écosystèmes définies par la CDB dans les programmes et activités de la FAO en particulier dans les domaines de la gestion forestière, des pêcheries et de l'agriculture. En 2009, à l'occasion de sa 12^e session ordinaire, la CRGAA a demandé à la FAO de mener une étude de cadrage sur le changement climatique et les RGAA afin d'intégrer le changement climatique dans son Programme de travail pluriannuel. En 2011, à l'occasion de sa 13^e session ordinaire, la CRGAA a reconnu le rôle important joué par les RGAA dans l'adaptation au changement climatique en soutenant les efforts pour atteindre la sécurité alimentaire (paragraphe 51). En 2015, la CRGAA a adopté les directives d'application volontaire⁴¹ à l'appui de l'intégration de la diversité génétique dans les plans nationaux d'adaptation au changement climatique. Parmi les directives pour évaluer les vulnérabilités au changement climatique et définir les options d'adaptation la FAO recommande d'adopter des approches fondées sur les écosystèmes (paragraphe 32). En 2019, la CRGAA a demandé à la FAO de concevoir une étude de cadrage sur le rôle des RGAA dans l'adaptation au changement climatique en tenant compte des rapports spéciaux du GIEC sur les terres (SRCCL⁴²) et l'océan et la cryosphère (SROCC⁴³).

Depuis sa création la CRGAA a supervisé l'évaluation de l'état des forêts, des ressources génétiques végétales et animales pour l'alimentation et l'agriculture et négocié des instruments internationaux majeurs tels que le Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture (TIRPAA)⁴⁴. Le TIRPAA est un traité international légalement contraignant qui a été adopté par 195 membres de la FAO (dont la France et l'Union européenne) lors de la 31^e réunion de la Conférence de la FAO en 2001 et qui est entré en vigueur en 2004. Le TIRPAA vise à reconnaître la contribution des agriculteurs à la diversité des cultures, à mettre en place un système mondial permettant de fournir un accès aux matériels phytogénétiques aux agriculteurs, aux sélectionneurs de végétaux et aux scientifiques et à s'assurer que les bénéficiaires partagent les avantages qu'ils tirent de l'utilisation de ces matériels génétiques avec les pays

40. <http://www.fao.org/cgrfa/fr/>

41. <http://www.fao.org/3/i4940f/i4940f.pdf>

42. GIEC (2019), *Rapport spécial sur 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* : <https://www.ipcc.ch/report/srccl/>

43. GIEC (2019), *Rapport spécial sur l'océan et la cryosphère dans un contexte de climat changeant* : <https://www.ipcc.ch/report/srocc/>

44. <http://www.fao.org/plant-treaty/fr/>

d'où ils proviennent. Une référence indirecte à l'adaptation au changement climatique pourrait également trouver un ancrage dans le préambule du TIRPAA : « Les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture [...] jouent un rôle essentiel dans l'adaptation aux changements écologiques et aux évolutions imprévisibles des besoins humains ». En 2012, la FAO et l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) organisent l'atelier « Construire la résilience pour l'adaptation au changement climatique dans le secteur agricole » lors duquel sont présentés différents articles dont celui du secrétariat au TIRPAA ⁴⁵ montrant la pertinence du Traité dans la construction de la résilience au changement climatique.

● *Vers un régime international de coopération sur l'environnement ?*

Le projet de Pacte mondial pour l'environnement porté par la communauté internationale des juristes pourrait-il donner lieu à la création d'un régime international de coopération regroupant l'ensemble des enjeux environnementaux ?

Ce Pacte a pour ambition de refléter l'ensemble des grands principes du droit international de l'environnement non pas pour se substituer aux traités existants mais pour compléter et faciliter leur mise en œuvre. Il s'agirait en somme d'un socle minimal d'exigences commun aux différents États mais qui laisserait la possibilité à ceux qui le souhaitent de se doter d'exigences environnementales plus élevées.

Après l'adoption des deux pactes internationaux de 1966, relatif aux droits civils et politiques pour l'un, et aux droits économiques, sociaux et culturels pour l'autre, ce nouveau Pacte serait porteur d'une troisième génération de droits fondamentaux. Ce projet trouve son origine dans l'adoption par l'Assemblée générale des Nations unies de la Charte mondiale de la nature en 1982 et la publication du rapport Brundtland en 1987. Il commence après la COP21 sous l'impulsion de Laurent Fabius, président du Conseil constitutionnel de la République française, ancien ministre des Affaires étrangères et président de la COP21 et de Yann Aguila, avocat au barreau de Paris et président de la commission environnement du Club des juristes. Ainsi est-il publié en 2017 un avant-projet de Pacte mondial pour l'environnement ⁴⁶ élaboré par un groupe d'experts, composé d'une centaine de juristes issus de quarante pays, représentant toutes les traditions juridiques et coordonné par le Club des juristes. Le 10 mai 2018, l'Assemblée générale des Nations unies a adopté la résolution 72/277 « Vers un pacte mondial pour l'environnement » ⁴⁷. Le Pacte est actuellement en cours de discussion entre les États.

En regroupant différents enjeux environnementaux ce Pacte pourrait être une opportunité pour les États membres de l'ONU de s'engager vers une meilleure coordination dans la manière de prendre en charge les différents enjeux environnementaux

45. FAO, (2012).

46. <https://www.leclubdesjuristes.com/wp-content/uploads/2017/06/Avant-projet-de-Pacte-mondial-pour-l'environnement-24-juin-2017.pdf>

47. https://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/72/277&Lang=F

(climat, biodiversité, eau, risques, déchets...) aujourd'hui encadrés par des conventions et traités internationaux différents. L'article 16 de l'avant-projet de Pacte consacré à la résilience illustre par exemple ce rapprochement possible des enjeux environnementaux en reconnaissant le rôle des écosystèmes dans l'adaptation : « Les parties prennent les mesures nécessaires pour maintenir et rétablir la diversité et la capacité des écosystèmes et des communautés humaines à résister aux perturbations et dégradations environnementales et à se reconstituer ainsi qu'à s'adapter à elles ».

Le Pacte mondial pour l'environnement pourrait donc encourager le développement de solutions qui permettent de créer de la transversalité entre les enjeux environnementaux telles que les SfN.

● Conclusion

Ainsi les approches fondées sur les écosystèmes sont considérées au niveau international comme des options pertinentes pour l'adaptation au changement climatique de la biodiversité, de la forêt, de la prévention des risques et catastrophes naturels, du développement durable, de l'urbanisme, de l'agriculture. Autant de pistes pour ancrer les SfN dans le cadre politique mondial et d'inspiration pour intégrer les solutions d'adaptation fondées sur la nature dans les politiques nationales et locales.

Les solutions d'adaptation fondées sur la nature en droit français et en droit européen d'un point de vue de juriste

Agnès Michelot et al.⁴⁸,
La Rochelle université

● Les Solutions fondées sur la Nature en droit

Le droit se définit par rapport à ses objectifs, il cherche à organiser un projet à l'échelle de la société qui le crée et le met en œuvre. Plus spécifiquement, le droit de l'environnement est un droit transversal qui a vocation à s'appliquer à toutes les activités humaines qui ont un impact sur la nature et pour cela il déploie des principes et des instruments juridiques variés. En l'occurrence, il contribue à relever le défi de l'adaptation au changement climatique en protégeant les écosystèmes.

48. Cette contribution a bénéficié de l'expertise de Simon Jolivet, maître de conférences à l'université de Poitiers et de Charlotte Huteau, chercheure associée au CEJEP à La Rochelle université. Elle s'appuie en partie sur le travail engagé par un collectif de juristes de la région Nouvelle-Aquitaine pour un chapitre du Rapport Acclimaterra dirigé par Hervé Le Treut : AcclimaTerra, Le Treut, H. (dir.), (2018), *Anticiper les changements climatiques en Nouvelle-Aquitaine. Pour agir dans les territoires*. Éditions région Nouvelle-Aquitaine, 488 pages. Chapitre sur les instruments juridiques de l'adaptation, p. 70 et suivantes téléchargeable : <http://www.acclimaterra.fr/uploads/2018/05/Rapport-AcclimaTerra.p>

Au niveau de l'Union européenne, l'Acte unique européen⁴⁹ a consacré la compétence communautaire (ex. : article 130R-2) en prévoyant que « Les exigences en matière de protection de l'environnement sont une composante des autres politiques de la Communauté ». Par ailleurs, l'article 11 du Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne⁵⁰ (TFUE) prévoit que « Les exigences de la protection de l'environnement doivent être intégrées dans la définition et la mise en œuvre des politiques et actions de l'Union, en particulier afin de promouvoir le développement durable ». En complément, la charte des droits fondamentaux de l'Union européenne⁵¹ dispose qu'un « niveau élevé de protection de l'environnement et d'amélioration de sa qualité doit être intégré dans les politiques de l'Union et assuré conformément au principe de développement durable » (article 37). En matière d'adaptation au changement climatique, la stratégie de l'Union européenne présentée par la Commission européenne en 2013 souligne que les « approches centrées sur les écosystèmes présentent généralement un bon rapport coût/efficacité dans les différents scénarios ».

Sur le plan français, le droit national reconnaît que l'environnement relève de l'intérêt général et des dispositions relatives à des aspects particuliers sont d'ailleurs prévues sur le plan législatif⁵². La lutte contre l'effet de serre et la prévention des risques liés au réchauffement climatique sont reconnues « priorités nationales » (loi n° 2001-153, 19 février 2001).

L'adaptation au changement climatique peut s'appuyer sur de nombreux instruments juridiques qui concernent tous les secteurs d'activité mais, sous l'angle des Solutions fondées sur la Nature (SfN), il convient de considérer les principes, les instruments et les politiques qui soutiennent la préservation, l'amélioration de la gestion et la restauration des écosystèmes.

49. L'Acte unique européen, signé le 17 février 1986 au Luxembourg et le 28 février 1986 à La Haye, est entré en vigueur le 1^{er} juillet 1987. Il a pour objectif de réformer les institutions pour préparer l'adhésion du Portugal et de l'Espagne et accélérer le processus décisionnel en vue de l'instauration du marché unique. Ce traité étend le vote à la majorité qualifiée au sein du Conseil (limitant ainsi la possibilité pour un pays d'opposer seul son veto à une proposition de législation) et crée des procédures de coopération et d'avis conforme, donnant plus d'influence au Parlement.

50. Le Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne (TFUE) signé le 25 mars 1957 à Rome et entré en vigueur le 1^{er} janvier 1958 avait pour objectif la création de la Communauté économique européenne (CEE) et de la Communauté européenne de l'énergie atomique (CEEA ou Euratom).

51. La charte des droits fondamentaux de l'Union européenne a été proclamée lors du Conseil européen de Nice, le 7 décembre 2000. C'est le traité de Lisbonne qui lui a donné la même valeur juridique que celle des traités. Elle est donc désormais contraignante pour les États membres et tout citoyen peut s'en prévaloir en cas de non-respect de ces droits par un texte européen.

52. Préservation des milieux aquatiques, protection des forêts, mise en valeur du littoral, spécificités de la montagne...

● Les principes et concepts de référence pour les Solutions fondées sur la Nature

Les SfN se déclinent en plusieurs actions qui sont soutenues en droit par les principes de prévention et de précaution⁵³.

La prévention consiste à éviter les atteintes à l'environnement par des mesures appropriées avant l'élaboration de plan, d'ouvrages ou d'activités. Le principe d'action préventive peut être considéré comme le socle fondamental des actions qui visent à préserver des écosystèmes fonctionnels et un bon état écologique. En effet, des SfN ne peuvent être envisagées sans maintenir les fonctions des écosystèmes et préserver les équilibres naturels. Le principe figure dans le premier programme d'action des communautés européennes de l'environnement en 1973 et par la suite l'Acte unique européen prévoit que l'action de la Communauté dans le champ de l'environnement se base sur les principes de l'action préventive, de la correction en priorité à la source des atteintes à l'environnement (article 130R§2). Au niveau national, la Charte constitutionnelle de l'environnement⁵⁴ prévoit que toute personne doit prévenir les atteintes à l'environnement ou, à défaut, doit en prévenir les conséquences (article 3).

Le principe de précaution qui est apparu dans plusieurs conventions internationales, notamment dans la Convention sur la pollution atmosphérique à longue distance de 1979, représente un niveau plus élevé d'anticipation des risques avec une approche renouvelée de l'anticipation des atteintes aux fonctions écologiques. Le Traité sur l'Union européenne⁵⁵ signé à Maastricht en 1992 évoque le principe de précaution parmi les principes qui fondent la politique de la Communauté en matière environnementale (article 174) et par la suite la jurisprudence du tribunal de première instance des Communautés européennes⁵⁶ (TPICE) le qualifie

53. Pour la présentation des principes de droit de l'environnement, cf. notamment Prieur *et al.*, (2016), *Droit de l'environnement*, Paris, Dalloz, 7^e édition ; pour le droit de l'environnement de l'Union européenne, voir Truilhe-Marengo E., (2015), *Droit de l'environnement de l'Union européenne*, Bruxelles, Larcier.

54. La charte de l'environnement a été adoptée par le Parlement en juin 2004. Elle a reçu valeur constitutionnelle en étant intégrée dans le Préambule de la Constitution par la loi constitutionnelle du 1^{er} mars 2005.

55. Le Traité sur l'Union européenne dit Traité de Maastricht signé le 7 février 1992 et entré en vigueur le 1^{er} novembre 1993 avait pour objectif de préparer la création de l'Union monétaire européenne et de jeter les bases d'une union politique (citoyenneté européenne, politique étrangère et de sécurité commune, coopération dans le domaine de la justice et des affaires intérieures). Par ce traité est instituée la création de l'Union européenne et est introduite la procédure de codécision, qui donne plus de poids au Parlement dans les prises de décision. Ce traité a également permis l'instauration de nouvelles formes de coopération entre les États membres, par exemple dans les domaines de la défense, de la justice et des affaires intérieures.

56. Le tribunal de première instance des Communautés européennes (TPICE) est compétent pour connaître des recours introduits par les personnes physiques ou morales membres de l'Union européenne visant à l'annulation d'actes des institutions, des organes ou des organismes de l'Union européenne ; des recours contre les actes réglementaires qui les concernent directement et qui ne comportent pas de mesures d'exécution et ; des recours formés par ces mêmes personnes visant à constater l'abstention de statuer de ces institutions, organes ou organismes. Le TPICE est également compétent pour connaître des recours formés par les États membres contre la Commission ; des recours formés par les États membres contre le Conseil concernant les actes pris dans le domaine des aides d'État, les mesures de défense commerciale (*dumping*) et les actes par lesquels il exerce des compétences d'exécution ; des recours visant à obtenir réparation des dommages causés par les institutions ou par les organes ou organismes de l'Union européenne ou de leurs agents.

de principe général de droit communautaire⁵⁷. Ce principe impose aux autorités concernées de prendre les mesures appropriées pour prévenir certains risques potentiels pour la santé publique, la sécurité et l'environnement.

Le principe de solidarité écologique, principe reconnu dans le droit français mais pas dans le droit européen, est établi dans la loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages. La Stratégie nationale pour la biodiversité (SNB) 2011-2020 s'appuie également sur le concept de solidarité écologique qu'elle utilise dans son Objectif 13 pour « partager de façon équitable les avantages issus de la biodiversité à toutes les échelles ». La solidarité écologique est ainsi désignée comme « l'étroite interdépendance des êtres vivants, entre eux et avec les milieux naturels ou aménagés de deux espaces géographiques contigus ou non »⁵⁸. Par ailleurs, l'Objectif 16 qui vise à développer la solidarité nationale et internationale dans les territoires va plus loin en considérant que « l'interdépendance écologique des territoires est un fait, la solidarité écologique sa prise en compte volontaire ». La volonté est clairement affichée d'aller plus loin que l'objectif d'assurer les continuités écologiques en faisant le lien vers une responsabilité juridique : celle de réparer les dommages écologiques.

La connaissance, la protection, la mise en valeur, la restauration, la remise en état, la gestion, la préservation de la capacité à évoluer et la sauvegarde des services issus des éléments qui composent le patrimoine commun de la nation, notamment la biodiversité, doivent « s'inspirer » du principe de solidarité écologique.

La séquence Éviter-Réduire-Compenser déjà prévue dans la loi du 3 août 2009 et la loi du 12 juillet 2010 est précisée dans les articles 2 et 69 de la loi pour la reconquête de la biodiversité. Des sites naturels de compensation sont notamment prévus⁵⁹. Le principe de réparation des dommages environnementaux prévu à l'article 4 de la Charte de l'environnement conduit à envisager les solutions d'ingénierie écologique pour réparer les écosystèmes dégradés.

Au-delà de ces principes juridiques, un concept transversal vient en soutien des SfN. Il s'agit du concept de résilience qui est très présent dans les Objectifs du Développement Durable de l'Agenda 2030 et dans l'Accord de Paris sur le climat. La résilience est mentionnée à de nombreuses reprises dans la Stratégie globale de l'Union européenne et apparaît comme un objectif stratégique de sécurité. La résilience écosystémique se réfère à la capacité des écosystèmes à fonctionner pour maintenir la vie et absorber les changements tout en maintenant leurs fonctions essentielles. La résilience peut donc soutenir l'approche des SfN.

57. TPICE, 26 novembre 2002, *Ategodan GmbH*. a. c. *Commission*, aff.jtes T-74/00.

58. Définition donnée dans le glossaire de la *Stratégie nationale pour la biodiversité 2011-2020*, p. 57.

59. En conformité avec le droit européen et la directive n° 2014/52/UE modifiant la directive n° 2011/52/UE sur l'évaluation de certains projets publics et privés sur l'environnement.

● *Les instruments juridiques en soutien à l'adaptation au changement climatique fondée sur la nature*

Le droit dispose de multiples instruments pour soutenir, organiser et planifier l'adaptation au changement climatique. Les territoires ne sont pas impactés de la même façon par les risques climatiques en raison de leurs caractéristiques physiques, géographiques, climatiques mais aussi des particularités de leurs populations (densité, activités économiques, caractéristiques socioculturelles)⁶⁰. Pour cette raison, des instruments de protection des milieux naturels et de mise en œuvre de l'adaptation s'appuyant sur le respect des équilibres naturels peuvent être déployés dans des contextes variés⁶¹.

Les instruments pour protéger les milieux naturels afin de favoriser l'adaptation au changement climatique

Pour éviter la dégradation : planifier et contrôler l'urbanisation

Le droit de l'urbanisme donne des instruments de prévention pour faire face aux risques climatiques. Tout d'abord il permet de planifier l'occupation du territoire et de réduire, par les refus et les prescriptions assortissant les autorisations d'urbanisme, la vulnérabilité des personnes et des biens en maintenant des zones de protection, véritables « zones tampons » favorables à la préservation des écosystèmes. Le contrôle des implantations et les exigences relatives à la demande devraient permettre de soutenir des SfN en contribuant à mettre en place des procédures favorables à l'anticipation des risques et donc à l'adaptation. La planification repose largement sur l'intervention des communes et des intercommunalités et, pour sa part, l'État a un rôle particulier en termes d'information préalable des collectivités et de contrôle de légalité. Les instruments de maîtrise foncière peuvent également être mobilisés pour développer les capacités d'adaptation en lien avec une approche écosystémique de l'ensemble des risques d'un territoire. Par exemple, les risques d'inondation et de submersion en zones côtières sont liés au fonctionnement du bassin fluvial.

*La sanctuarisation des écosystèmes : une solution pour l'adaptation?*⁶²

Le droit européen et le droit français ont développé des instruments juridiques pour protéger certains espaces qui représentent des habitats pour de nombreuses espèces et assurer la conservation de la diversité biologique. La Convention de Berne adoptée sous l'égide du Conseil de l'Europe en 1979 implique que les États parties sauvegardent les espaces naturels menacés de disparition et évitent toute disparition de zones protégées⁶³.

60. Conseil économique social et environnemental, (2017).

61. Pour la région Nouvelle-Aquitaine voir Le Treut *et al.*, (2018).

62. Les aires protégées constituent des SfN d'après la définition de l'UICN.

63. Article 4 de la Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel en Europe, Berne, 19 septembre 1979.

L'Union européenne avec la directive concernant la conservation des oiseaux sauvages 79-409 du 2 avril 1979 remplacée par la directive 2009-147 du 30 novembre 2009 prévoit la création de zones de protection spéciale pour la conservation des populations de certaines espèces d'oiseaux, et la création de zones spéciales de conservation pour les autres espèces et habitats d'intérêt communautaire est requise avec la directive « Habitats » 92-43 du 21 mai 1992. En France, les catégories d'aires protégées sont diversifiées et se distinguent par leurs objectifs et le pouvoir d'initiative. Ensuite chaque catégorie d'aire protégée (réserve naturelle, parc national, parc naturel marin, etc.) peut s'adapter au contexte particulier où elle va s'appliquer. Cela se traduit par l'adoption d'un plan de gestion spécifique qui peut intégrer des enjeux d'adaptation. Cependant, les pressions urbanistiques et l'artificialisation des sols soulignent la faible priorité donnée aux enjeux environnementaux au niveau local⁶⁴. Par ailleurs, la création d'aires protégées en outre-mer⁶⁵ pourrait être davantage mobilisée en tant qu'instrument favorisant la résilience des territoires ultramarins aux impacts du changement climatique.

Le maintien des continuités écologiques pour faire face au changement climatique

En France, la Trame verte et bleue (TVB) (une application de la stratégie paneuropéenne) constituée de l'ensemble du maillage des corridors biologiques, de réservoirs de biodiversité et de zones tampons représente une prise en compte de la solidarité écologique dans une dimension très spatialisée⁶⁶. Selon l'article L. 371-1 I du Code de l'environnement, les TVB ont pour objectif « d'enrayer la perte de la biodiversité en participant à la préservation, à la gestion et à la remise en bon état des milieux nécessaires aux continuités écologiques, tout en prenant en compte les activités humaines, et notamment agricoles, en milieu rural, ainsi que la gestion de la lumière artificielle la nuit ».

La TVB se présente comme un réseau formé de continuités écologiques terrestres et aquatiques identifiées mis en œuvre par des outils d'aménagement⁶⁷ en particulier déclinés dans les schémas régionaux de cohérence écologique (SRCE), intégrés aujourd'hui dans les schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET). La mise en œuvre de la TVB au plan local repose essentiellement sur les documents d'urbanisme tels que les schémas de cohérence territoriale (SCoT) et les plans locaux d'urbanisme (PLU) qui doivent prendre en compte ces schémas régionaux.

64. Jolivet S., (2012).

65. Rapport du Centre d'études juridiques et politiques EA 3170, Projet REOMER *Résilience des territoires d'outre-mer aux risques météo-marins dans le contexte du changement global Polynésie française, île de La Réunion*, Virginie Duvat (coord.), UMR LIENSs 7266, Programme RDT, ministère de la Transition écologique et solidaire, 15 novembre 2016 (non publié).

66. Debray A., (2011).

67. Ces instruments sont visés aux articles L. 371-2 et L. 371-3 du Code de l'environnement. Il s'agit du document-cadre « Orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques » et du schéma régional de cohérence écologique.

Elle marque une étape vers la prise en considération concrète, dans les politiques publiques d'aménagement des territoires, de la solidarité écologique en recherchant une cohérence écologique. Ces instruments correspondent à une approche écosystémique des enjeux de l'adaptation qui ouvrent des perspectives de SfN.

Les instruments pour anticiper et gérer l'adaptation

De la gestion des risques à la préservation des espaces naturels pour des territoires littoraux résilients aux impacts du changement climatique

Anticiper les risques provoqués par les effets du changement climatique est particulièrement nécessaire en zones côtières considérant à la fois la diversité, l'intensité des risques et les conséquences pour les populations. Les risques « naturels » se décomposent en risques d'origine maritime : submersion/inondation, tempêtes, érosion, tsunamis et risques qui ne sont pas d'origine maritime comme l'irruption, le retrait-gonflement des sols, le séisme, les mouvements de terrain et les incendies. La submersion peut par exemple provoquer des déplacements de population, conduire à la perte de terres et à des modifications significatives de l'occupation des sols. En droit français plusieurs codes évoquent ce qui est désigné par des « risques naturels » : le Code des assurances, le Code de l'urbanisme, le Code rural, le Code de la construction et de l'habitation, le Code forestier et même le Code civil.

La protection du littoral s'appuie sur la loi relative à l'aménagement, la protection et la mise en valeur du littoral adoptée le 3 janvier 1986. Elle vise notamment à identifier des espaces remarquables ou vulnérables. Or, le changement climatique conduit à envisager de protéger de plus en plus d'espaces littoraux pour faire face à l'érosion et au risque accru de submersion. La préservation des zones littorales restées à l'état naturel est prévue dans plusieurs dispositions. L'article R. 146-1 du Code de l'urbanisme donne la liste des espaces et milieux à protéger qui comprend notamment les dunes, les landes côtières, les zones boisées proches du rivage et les zones humides et milieux temporairement immergés ou encore les parties naturelles des estuaires. Par ailleurs, l'aménagement des plages et le libre accès au rivage sont encadrés. Il appartient aux collectivités locales de mettre en œuvre ces règles dans une planification territoriale adaptée. Le Conservatoire du littoral mène en partenariat avec les collectivités une politique foncière de sauvegarde de l'espace littoral et de maintien des sites naturels et de l'équilibre écologique, par l'acquisition de sites fragiles et menacés, en vue de leur protection.

Un texte comprenant des orientations plus strictes au niveau législatif pour encourager un aménagement durable des territoires littoraux tenant compte des risques climatiques et notamment des conséquences du recul du trait de côte et contraindre davantage l'urbanisation du littoral permettrait de renforcer la protection et la résilience des espaces naturels littoraux et d'élaborer des politiques d'anticipation du changement climatique en zones littorales. Ainsi, il serait nécessaire d'organiser dans les zones les plus exposées aux aléas climatiques un recul stratégique. Différents instruments sont mobilisables pour accompagner cette

évolution, notamment la mise en place d'un bail temporaire et modulable en fonction de l'évolution de l'aléa. En parallèle, il convient de favoriser les protections douces plutôt que les systèmes d'endiguement massifs et moduler le système d'assurance en fonction du degré de risque afin d'obtenir un effet dissuasif pour l'installation en zones littorales à risques. Il serait important d'envisager prioritairement les implantations légères temporaires respectueuses de l'environnement (ex. : pour le déploiement des activités économiques) notamment dans un contexte d'élaboration et d'adoption des stratégies de façade maritime. Enfin, outre le renforcement de l'action du Conservatoire du littoral en lien notamment avec l'outil de la préemption qui permet de sanctuariser et de mettre en valeur des zones de protection du milieu naturel, soutenir l'implication des populations notamment dans la planification territoriale permettrait d'encourager la réappropriation et la valorisation du patrimoine naturel.

Cependant, à la lumière des évolutions juridiques récentes, il est permis de se demander si elles vont dans le sens d'une plus grande protection des espaces littoraux ou plutôt vers un plus grand mitage du littoral. En effet, dans la mesure où la loi du 23 novembre 2018 portant évolution du logement, de l'aménagement et du numérique dite loi « ELAN » assouplit le principe d'extension en continuité de l'urbanisation, on pourrait se demander si elle ne risquerait pas d'affaiblir la portée de la loi « Littoral » de 1986 en matière de protection des milieux naturels. Selon ce principe l'extension de l'urbanisation doit se réaliser soit en continuité avec les agglomérations et villages existants, soit en hameaux nouveaux intégrés à l'environnement⁶⁸. Or, en créant une nouvelle catégorie d'espace intermédiaire, entre village et urbanisation diffuse, où une certaine constructibilité est permise, la loi « ELAN » autorise des constructions et installations dans des secteurs déjà urbanisés mais cette fois en dehors des agglomérations et villages identifiés par le SCoT et délimités par le PLU. Des précautions ont été prises pour encadrer l'identification des hameaux⁶⁹. Mais ayant potentiellement introduit le risque d'encourager l'urbanisation et donc l'artificialisation du littoral au détriment des espaces naturels, la loi « ELAN » appelle donc à une certaine vigilance dans sa mise en œuvre.

L'adaptation en montagne

Le milieu montagnard est particulièrement exposé au changement climatique en même temps qu'il subit de fortes pressions qui menacent les équilibres naturels : urbanisation, infrastructures de transports, installation de stations de haute altitude, etc.

68. Bordereaux L., Roche C., (2019).

69. La loi « ELAN » vient déroger au principe d'extension en continuité de l'urbanisation (article L. 121-8 Code de l'urbanisme) en permettant de construire dans les hameaux des communes littorales. Les hameaux considérés ne sont pas des agglomérations ou même de simples zones d'urbanisation diffuse. Leur identification se fonde notamment sur la densité de l'urbanisation, sa continuité et sa structuration ou encore par des voies de circulation et des réseaux d'accès aux services publics. Par ailleurs, les nouvelles constructions ne doivent pas avoir pour effet d'étendre le périmètre bâti existant ni de modifier de manière significative les caractéristiques de ce bâti. Ces éléments peuvent cependant faire l'objet d'interprétation en fonction du contexte local et par conséquent conduire à des contentieux.

Une politique européenne intégrée s'appuyant sur une politique de massifs et donc sur la cohésion territoriale et la fonctionnalité écologique pourrait être développée. Cependant, il n'existe pas de définition partagée de la montagne au niveau européen et l'approche par massif reste propre à la France. L'expérience internationale développée par la Convention alpine de 1991 est intéressante, et notamment sous l'angle du protocole sur la protection de la nature et l'entretien des paysages de 1994 qui a pour objectif «de convenir de règles internationales en vue d'assurer la protection, la gestion et, si nécessaire, la restauration de la nature et des paysages de telle manière que le fonctionnement des écosystèmes, la conservation des éléments du paysage et des espèces animales et végétales sauvages, y compris de leurs habitats naturels, la capacité de régénération et de production à long terme du patrimoine naturel, la diversité, l'originalité et la beauté des paysages naturels et ruraux dans leur ensemble soient garantis durablement». La déclaration sur le changement climatique adoptée par la Conférence alpine de 2006⁷⁰ prévoit que l'utilisation des sols soit adaptée au potentiel de risque dû aux dangers naturels et au déplacement des zones de végétation et la protection des forêts de montagne.

En France, la loi n° 85-30 du 9 janvier 1985 modifiée en 2016⁷¹ et intégrée dans le Code de l'urbanisme permet d'encadrer le développement urbain et de limiter le mitage des constructions. Les modifications apportées en 2016 doivent permettre de «répondre au défi du changement climatique, permettre la reconquête de la biodiversité et préserver la nature et les paysages» (article 1 de la loi «Montagne II»). Il est ainsi prévu la création d'unités touristiques⁷² pour prendre en compte la vulnérabilité de ces espaces au changement climatique. Le patrimoine naturel et culturel montagnard est préservé par des règles d'urbanisme qui permettent d'encadrer le développement des constructions et une protection renforcée s'applique pour la haute montagne, c'est-à-dire pour les zones situées au-delà de l'habitat permanent. Cependant, même si l'urbanisation ne peut se réaliser, en principe, qu'en continuité avec des habitations existantes, la protection des espaces de montagne reste faible et l'approche sous l'angle de l'adaptation par des SfN n'apparaît pas en tant que telle. De nombreuses dérogations permettant des extensions de construction sont possibles⁷³. À titre d'exemple, certaines activités liées aux services publics en cas de nécessité technique impérative peuvent éviter d'être soumises aux contraintes de la loi «Montagne II». Il s'agit notamment des installations et ouvrages nécessaires aux établissements scientifiques, à la défense nationale, aux recherches et à l'exploitation de ressources minérales d'intérêt national, à la protection contre les risques naturels,

70. http://www.alpconv.org/fr/convention/protocols/Documents/AC_IX_07_declarationclimatechange_fr_fin.pdf

71. Loi n° 2016-1888 du 28 décembre 2016 de modernisation, de développement et de protection des territoires de montagne (dite loi «Montagne II»).

72. Article L. 122-16 du Code de l'urbanisme : «Toute opération de développement touristique effectuée en zone de montagne et contribuant aux performances socio-économiques de l'espace montagnard constitue une "unité touristique nouvelle".»

73. Pour le détail voir Prieur et al., *op. cit.*, p. 484.

à l'établissement de réseaux de communications électroniques ouverts au public et aux services publics autres que les remontées mécaniques⁷⁴.

Cependant, on peut se demander si les évolutions juridiques consacrées à la montagne dans la loi « Montagne II » du 28 décembre 2016 vont ou non dans le sens d'une prise en considération des enjeux climatiques alors que les défis sont considérables. De nombreuses pressions pèsent sur la montagne (nuisances du transport touristique aérien et du transport de personnes ou de marchandises dans les vallées, atteintes au milieu naturel par le développement des remontées mécaniques et des stations de ski en haute altitude) dont certaines risquent de s'aggraver avec le changement climatique. Aussi aurait-il été pertinent de définir des « zones de tranquillité » garantissant la priorité à la protection du milieu naturel et l'absence de nuisances susceptibles de porter atteinte aux processus écologiques, favorisant par là même les conditions d'une résilience des écosystèmes montagnards. Ce dispositif prévu à l'article 10 du protocole « tourisme » de la Convention alpine⁷⁵ et initialement prévu dans le texte de loi en préparation, a cependant été retiré de la loi « Montagne II » au cours des travaux parlementaires. Réglementer la « capacité de charge touristique » des territoires fragiles afin de fixer un seuil de fréquentation des territoires pourrait également être une piste à explorer. Cette mesure pourrait être accompagnée d'instruments de contrôle, de suivi ou de gestion afin d'assurer une mise en place opérationnelle de ce seuil. Par ailleurs, face aux impacts du changement climatique sur l'eau⁷⁶ il conviendrait d'approfondir la réglementation sur la gestion de cette ressource cruciale à l'économie des espaces montagnards. Des mesures pour limiter la dégradation du bilan hydrique et la baisse du débit des cours d'eau pourraient, par exemple, être envisagées.

La nature en ville : l'aménagement urbain au service de l'adaptation

Les espaces urbains où se concentrent de plus en plus les populations sont un enjeu majeur pour l'adaptation au changement climatique. L'avis du CESE sur « la nature en ville : comment créer la dynamique » de juillet 2018⁷⁷ préconise que des approches conjointes « biodiversité-climat » soient privilégiées dans les politiques urbaines. Par ailleurs, l'avis considère que « les Solutions basées sur la Nature doivent être partie intégrante des stratégies d'adaptation des villes au changement climatique »⁷⁸. Considérant les effets du changement climatique en milieu urbain, la présence de la nature en ville peut participer au confort thermique en ville. Ce développement de la nature s'inscrit dans le Code de l'urbanisme : l'article L. 101-2 stipule que « l'action des collectivités publiques en matière d'urbanisme vise à atteindre [...] 6° La protection des milieux naturels et des paysages,

74. Article L. 122-3 du Code de l'urbanisme, modifié par la loi n° 2018-1021 du 23 novembre 2018 – article 223.

75. Yolka P., (2017) « Dernier de cordée. L'environnement dans la loi "Montagne 2" du 28 décembre 2016 », *Revue juridique de l'environnement*, volume 42, p. 233-249.

76. Voir l'article sur les différents types d'impacts du changement climatique, section « Typologie », chapitre A du présent rapport.

77. https://www.lecese.fr/sites/default/files/pdf/Avis/2018/2018_21_nature_ville.pdf

78. Préconisation 4 de l'Avis du CESE.

la préservation de la qualité de l'air, de l'eau, du sol et du sous-sol, des ressources naturelles, de la biodiversité, des écosystèmes, des espaces verts ainsi que la création, la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques ». Les documents d'urbanisme tels que les SCoT, PLU et PLUi peuvent donc intégrer les milieux naturels pour développer l'aménagement urbain en faisant des continuités écologiques une priorité.

● Conclusion

Le droit européen et le droit français disposent de nombreux instruments de protection de l'environnement qui peuvent participer et soutenir des solutions pour l'adaptation au changement climatique. Cependant, ces instruments sont souvent fragilisés par de nombreuses dérogations ou assouplissements comme nous l'avons vu pour les zones littorales et la montagne. Par ailleurs, ces instruments ne sont pas suffisamment connectés ou mis en œuvre pour faire face aux enjeux de l'adaptation. Des évolutions juridiques pour intégrer l'objectif de l'adaptation au changement climatique et réorienter les priorités et les conditions de mise en œuvre de ces instruments sont indispensables.

Sous l'angle des SfN, il paraît ainsi important d'assurer la prééminence des normes protectrices de l'environnement sur les autres normes⁷⁹ et de respecter le principe du niveau élevé de protection tel que reconnu par le droit de l'Union européenne (article 3.3 du Traité sur l'Union européenne et article 37 de la Charte des droits fondamentaux). Il serait d'ailleurs sans doute souhaitable que ce principe soit intégré dans la Constitution tout comme le principe de non-régression.

Pour atteindre des objectifs ambitieux d'adaptation, il conviendrait sans doute de favoriser une approche transversale intégrée des questions environnementales dans les services de l'État, comme au niveau décentralisé, en soutenant prioritairement « le mieux disant environnemental ».

Le principe de solidarité écologique définit dans la loi pour la reconquête de la biodiversité de 2016 pourrait avoir vocation à évoluer pour prendre en considération les enjeux de l'adaptation au changement climatique. Ce principe de solidarité écologique pourrait agir comme :

- Un principe de planification territoriale démocratique à plusieurs échelles, du local à l'international. Un tel principe conduira notamment à une évolution des documents d'aménagement des territoires au plan national, et au développement d'instruments de coopération renforcée sur le plan international pour respecter la cohérence écologique et assurer la cohésion territoriale.
- Un principe de justice sociale pour tenir compte des différences d'exposition aux risques environnementaux et établir des politiques environnementales qui

79. De nombreuses propositions ont été faites par la Société française pour le droit de l'environnement lors des états généraux de la modernisation du droit de l'environnement mis en place par le ministère de l'Environnement en 2013. Par exemple, il est recommandé de supprimer les notions de prise en compte, de prise en considération, de « cohérence », concepts flous facteurs d'une réelle insécurité juridique.

tiennent compte de toutes les vulnérabilités (écologique, économique, social, culturel).

- Un principe de démocratie environnementale en appuyant la transparence et le bien-fondé des décisions susceptibles d'affecter la cohérence écologique, avec le renforcement des études d'impact environnemental qui doivent prendre en compte les continuités écologiques et les interactions entre les écosystèmes et les êtres vivants.
- Un principe de transition écologique en donnant aux décideurs publics ou privés la capacité d'anticiper afin de réduire les effets du changement climatique, assurer l'alimentation, la prévention des risques, préserver les ressources en eau...
- Un principe de responsabilité environnementale individuelle et collective. Chacun est responsable à son niveau des impacts environnementaux qui sont susceptibles de perturber le droit à un environnement sain d'autres personnes.

Ces propositions, d'ordre prospectif, pourraient trouver des applications concrètes⁸⁰ pour mettre en œuvre des SfN.

L'apport de la normalisation au développement de solutions d'adaptation fondées sur la nature

Jérôme Duvernoy,

Observatoire national sur les effets
du réchauffement climatique

Sébastien Dellinger,

École des systèmes vivants et Union professionnelle
du génie écologique

● Introduction

À la veille de la Révolution française, la diversité des mesures utilisées en France présente une source de confusions qui constitue une entrave à la science, au commerce et à l'industrie. Le développement du nouveau système de mesure est accompagné d'actions de communication et de moyens de mise en œuvre tels que les mètres-étalons diffusés aussi bien dans les pays lointains que dans la capitale (16 mètres étalons sont déployés dont celui restant au 36 rue de Vaugirard à Paris). Le système métrique révolutionnaire est maintenant connu sous le terme de Système international d'unités (SI) et sous la référence ISO 80000-1 : 2009.

80. Michelot A., (2018).

● Définition

Une norme est définie par l'Organisation internationale de normalisation⁸¹ (ISO) et la Commission électrotechnique internationale⁸² (CEI), comme un « document, établi par consensus et approuvé par un organisme reconnu, qui fournit, pour des usages communs et répétés, des règles, des lignes directrices ou des caractéristiques, pour des activités ou leurs résultats, garantissant un niveau d'ordre optimal dans un contexte donné ».

● L'intérêt des normes

La normalisation ou la standardisation est le fait d'établir un référentiel commun et documenté destiné à harmoniser l'activité d'un secteur. Les normes sont publiées par des organismes spécialisés, comme l'Association Française de Normalisation (Afnor) pour la France, ou l'International Standard Organization (ISO) au niveau international, ou par des organisations de professionnels d'un secteur d'activité donné, telles que l'Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens (IEEE). Les normes peuvent également être élaborées par des consortiums économiques soucieux de répondre à des besoins spécifiques du marché ou par des Etats en vue d'étayer des règlements (telle que la NF T90-421 sur la qualité des eaux de piscines, rendue obligatoire par l'arrêté du 17 septembre 2003), notamment dans le domaine de la santé et de la sécurité.

Les normes sont généralement payantes et peu diffusées, alors que les standards sont plus facilement diffusés. En particulier, le standard Unicode est généralement mieux connu que la norme ISO/CEI 10646 qui en est un sur-ensemble.

Traditionnellement présents dans le secteur industriel, les normes et standards ont gagné le domaine des services, notamment au travers des normes relatives aux processus et à la qualité de service (ISO 9001 v 2015).

● L'élaboration des normes, le processus de normalisation ISO, CEN, Afnor

Un Organisme national de normalisation (ONN), ou un membre de cet organisme, identifie tout d'abord le besoin du marché pour l'établissement d'une norme.

Par exemple, il peut s'agir de demandes émanant du gouvernement en vue du recours à une norme en tant que règlement technique pour assurer la protection des consommateurs, d'un groupe industriel soucieux de régler des questions d'interopérabilité ou d'un groupement de consommateurs pour décrire les risques associés à certaines activités d'aventure.

81. <https://www.iso.org/fr/home.html>

82. <https://www.iec.ch/>

L'Afnor en tant qu'Organisme national de normalisation (ONN) peut alors choisir différentes options :

- Au niveau national, un comité technique national représentant les parties prenantes intéressées (y compris, par exemple, les intérêts des consommateurs) peut élaborer une nouvelle norme nationale.
- Une norme nationale d'un autre pays peut être adoptée, pour autant qu'il en ait au préalable obtenu l'autorisation moyennant le versement de droits d'auteur ou d'autres accords commerciaux.
- Une norme internationale existante peut être adoptée en tant que norme nationale.

Une caractéristique essentielle des normes internationales est que le processus en est formellement spécifié dans les directives ISO/CEI (les règles qui régissent la procédure d'élaboration des normes). Tous les travaux d'élaboration des normes internationales doivent suivre ce processus, qui a été mis en place pour assurer la transparence et l'équité ; deux principes importants qui assoient la crédibilité de l'ISO et de la CEI.

À l'ISO (et à la CEI), la proposition d'étude nouvelle en vue de l'élaboration d'une norme internationale est le plus souvent présentée par un organisme national de normalisation :

- au secrétariat central de l'ISO, s'il est membre de l'ISO ;
- au Bureau central de la CEI, s'il est membre de la CEI.

Dans certains cas, l'organisme national de normalisation peut proposer une norme nationale ou régionale qui servira de base à une norme internationale (selon la filière rapide dite « procédure par voie express ») ou à titre de texte modèle joint à une proposition d'étude nouvelle (NP). Dans le cadre de l'ISO, la proposition de norme internationale peut également émaner d'autres sources, notamment d'un organe de gouvernance ou d'un Comité de politique de l'ISO (ex. : le Comité pour la politique en matière de consommation – COPOLCO), du secrétaire général de l'ISO, d'un comité technique ou d'une organisation en liaison (ex. : l'OCDE⁸³ ou la CEI).

Une norme internationale ISO représente un consensus mondial sur l'état des connaissances dans le domaine concerné. Ce consensus global est atteint, pour les normes internationales, au cours d'un processus d'élaboration en six étapes avant sa publication (voir tableau E1 ci-dessous).

83. <http://www.oecd.org/>

Tableau E1 – Processus d'élaboration des normes internationales.

Ordre	Désignation	Document	Étape
1	Préliminaire	PW I : document préliminaire au projet	Consensus des membres du comité
2	Proposition	NP : la proposition	Consensus
3	Préparation	WD : le projet de travail	Consensus
4	Comité	CD : le premier projet du comité d'élaboration de la norme	Consensus
5	Enquête	ISO/DIS : projet pour enquête, soumis à l'avis du public	Enquête publique
6	Approbation	FDIS : projet final de norme	Vote des membres
7	Publication	ISO : norme finale	Étape finale

© Jérôme Duvernoy.

Les normes ISO sont internationales par nature et élaborées dans le respect des principes de l'Organisation mondiale du commerce⁸⁴ (OMC) – transparence, ouverture, impartialité et consensus, efficacité et pertinence, cohérence et prise en compte des préoccupations des pays en développement – ce qui assure la crédibilité des normes internationales ainsi établies.

En tant que vecteur d'un ensemble de règles communes à tous les acteurs d'un même secteur d'activité, les normes peuvent constituer un levier puissant pour favoriser la diffusion à long terme des Solutions fondées sur la Nature (SfN).

● *Les normes encadrant l'adaptation au changement climatique*

Pour donner un cadre universel à l'adaptation au changement climatique, l'élaboration d'une série de normes a été décidée.

La norme ISO 14090 «Adaptation au changement climatique — Principes, exigences et lignes directrices», décrit les principes, les exigences et les lignes directrices relatifs à l'adaptation au changement climatique. Cela inclut l'intégration de l'adaptation au sein et entre les organismes, la compréhension des impacts et des incertitudes et la façon d'utiliser ces informations pour étayer les décisions à prendre. Cette norme a été publiée en juin 2019 et sera disponible prochainement en français.

Le projet de norme ISO 14091 «Adaptation au changement climatique – Guide pour l'évaluation des impacts, de la vulnérabilité et des risques», fournit des indications pour évaluer les risques potentiels liés aux impacts du changement climatique. Il décrit comment comprendre la vulnérabilité et comment développer et mettre en œuvre une évaluation des risques solide. Cette méthode s'applique aux risques dans le climat présent aussi bien que dans un climat futur.

84. <https://www.wto.org/>

Le projet de norme ISO 14092 « Adaptation au changement climatique – Exigences et conseils sur la planification de l'adaptation pour les gouvernements locaux et les communautés », spécifie les exigences et les directives relatives à la planification de l'adaptation pour les administrations et les communautés locales. Il aide les administrations locales et les communautés locales à mettre en place des mesures d'adaptation basées sur des évaluations de la vulnérabilité climatique, des impacts et des risques, à établir des priorités avec les parties prenantes concernées et à élaborer et réviser périodiquement un plan d'adaptation. Dans le chapitre dédié à l'identification des options d'adaptation, l'organisme est amené à s'appuyer sur plusieurs types d'action, incluant les SfN, seules ou en combinaison avec des solutions douces ou grises.

Le projet de norme ISO 14097 « Cadre et principes d'évaluation et de rapportage des activités d'investissement et de financement liées au changement climatique », est actuellement à un stade d'élaboration moins avancé. Il vise à aligner les investissements et financements sur des trajectoires compatibles avec le scénario d'un réchauffement climatique mondial de 2 degrés. Avec la même approche, un système de classification des activités économiques compatibles avec les objectifs de développement durable est en cours de développement par la Commission européenne. Le but est de réorienter les flux de capitaux vers des investissements plus responsables. Dans ce travail en cours de construction, appelé « taxonomie », les SfN sont également mises en avant, notamment dans le domaine de la prévention des crues rapides.

● *Les normes encadrant le génie écologique*

Comme vu précédemment (voir chapitre A), le génie écologique fait partie des SfN qui peuvent être mobilisées pour l'adaptation au changement climatique. Aussi, l'encadrement du génie écologique par des normes peut constituer un levier intéressant pour donner plus de visibilité aux SfN dans une perspective d'adaptation au changement climatique.

Comme il a été souligné par le rapport sénatorial sur : « La compensation des atteintes à la biodiversité », il convient d'« assurer progressivement, en concertation avec les acteurs, la montée en qualification des bureaux d'études, sur la base des méthodes partagées de réalisation des inventaires initiaux et de définition des mesures de compensation »⁸⁵.

Dans le cadre d'un projet, la description écologique du site est déterminante, aussi bien pour la réalisation effective du projet que pour sa bonne intégration dans le fonctionnement de l'écosystème. Si de nombreuses méthodes, protocoles et guides proposent des cadres pour sa mise en œuvre, il n'existe pas d'outil de référence permettant au maître d'ouvrage de juger de la qualité de la démarche proposée pour l'état initial. Pourtant, la réalisation d'un état initial (sa durée et sa complexité) est conduite de manière très variable en fonction des caractéristiques

85. Dantec R., (2016).

du site, de la diversité des compartiments biologiques à étudier, des moyens mis en œuvre et de l'envergure du projet. Cette hétérogénéité de pratiques, en partie justifiée, ne permet pas d'établir un cadre technique de référence, que ce soit à destination du porteur de projet pour établir le cahier des charges ou pour l'analyse des dossiers par les services instructeurs. En conséquence, les études menées sont parfois de mauvaise qualité, empêchant une bonne prise en compte des enjeux écologiques ou mettant en danger la réalisation du projet.

Il est essentiel que les différents acteurs intervenants sur un projet de génie écologique puissent disposer d'un langage commun. C'est à cette fin que la norme NF X10-900 a été élaborée.

Encadré 2

La norme NF X10-900 : un outil pour la conduite de projet de génie écologique

L'Union professionnelle du génie écologique a initié à partir de 2008 les travaux qui ont abouti à la publication en 2012 de la norme NF X10-900 dont l'objectif est de décrire et structurer la méthode de conduite de projets de génie écologique. Cette norme propose ainsi une méthodologie adaptée aux différents contextes : « quelles sont les bonnes questions à se poser dans le bon ordre pour avoir plus de chance d'obtenir les bonnes réponses ». Son objectif est donc de transmettre les savoir-faire en conduite de projet et de définir un langage commun entre acteurs. Son champ d'application concerne les zones humides et cours d'eau, mais les principes s'appliquent sur tous types de milieux.

Agir pour et avec le vivant

En effet, dans son principe, le génie écologique agit pour le vivant et permet de maintenir ou de restaurer les écosystèmes, processus biologiques et services écosystémiques en favorisant leur résilience, notamment aux impacts du changement climatique. Il implique donc la définition d'objectifs ciblés basés sur une analyse et une compréhension du contexte du site. C'est donc une réflexion d'ensemble qui amène ensuite à définir et mettre en œuvre des actions concrètes pour répondre aux buts à atteindre.

Une norme de conduite de projet

Cette norme propose une succession d'étapes clés à mettre en œuvre lors d'une opération de génie écologique :

- Évaluer la faisabilité, le périmètre, la stratégie et l'organisation de son projet au sein d'un cadrage préalable ;
- Réaliser un état des lieux du site ou du territoire concerné, intégrant l'ensemble des thématiques (écologiques, sociales, écologiques, historiques...);
- Analyser et comprendre le fonctionnement pour déterminer les enjeux ;

- Définir des objectifs en termes de maintien ou de restauration des écosystèmes et de la biodiversité ;
- Développer un programme opérationnel et le mettre en œuvre au travers d'actions concrètes et de travaux ;
- Réaliser un suivi scientifique et opérationnel pour évaluer l'atteinte des objectifs et les éventuelles mesures correctrices et d'adaptation à mettre en place.

La fonction de Coordinateur biodiversité

La norme NF X10-900 a créé la fonction de Coordinateur biodiversité. Celui-ci a pour rôle de s'assurer que l'ensemble des prescriptions sont mises en œuvre et que les actions vont dans le sens d'un maintien ou d'une amélioration de la biodiversité et des écosystèmes. La fonction de Coordinateur biodiversité peut être assurée par le maître d'ouvrage, un maître d'œuvre, un représentant de l'entreprise de travaux, ou bien toute autre personne. Quoi qu'il en soit, le Coordinateur biodiversité doit avoir des compétences sur le fonctionnement des écosystèmes.

Les évolutions possibles de la norme

Plusieurs années après la publication de cette norme, il existe toujours un besoin d'outils et de formation pour les porteurs de projets autour de la compréhension des enjeux du génie écologique. La norme est insuffisamment utilisée et ne constitue pas encore une référence. C'est pourquoi l'Union professionnelle du génie écologique (UPGE) propose d'élargir le champ d'application de la norme NF X10-900 à d'autres milieux que les zones humides et cours d'eau ou en créant un processus de certification des projets ayant suivi la démarche. Cet élargissement devrait permettre de donner un cadre à la démarche de conduite d'un état initial tout en laissant les acteurs libres du choix, de l'utilisation et de l'application des méthodes et des protocoles d'inventaires. Il devrait également permettre de généraliser le potentiel d'utilisation de la norme à tous types d'espaces, contribuant ainsi à améliorer la gestion des projets de génie écologique. La norme NF X10-900 a été soumise à une révision générale en 2017 par l'Afnor qui a pour cela réactivé le comité de normalisation auquel toute personne pouvait contribuer.

La norme est un outil avant tout au service du maître d'ouvrage, lui permettant de cibler sa commande et de conduire son projet en faisant appel aux personnes clés et en se posant les questions essentielles au moment opportun. Elle constitue également une trame de lecture pour l'analyse des dossiers réglementaires par les services de l'État. Elle est enfin une méthode travaillée et consensuelle sur laquelle le bureau d'études peut s'appuyer pour faire valoir auprès du porteur de projet la qualité de l'approche méthodologique de sa proposition. Encadrant l'adaptation au changement climatique d'une part et le génie écologique d'autre part, la norme constitue un levier intéressant pour créer un cadre d'action commun sur les solutions d'adaptation au changement climatique fondées sur la nature.

La mise en politique territoriale de l'adaptation au changement climatique

Nicolas Rocle,

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

Qu'il s'agisse de pratiques et de concepts nouveaux ou « remis au goût du jour », le recours aux Solutions fondées sur la Nature (SfN) dans une perspective d'adaptation au changement climatique procède d'un « faire avec » la nature pour « faire face » (*to cope with*) aux changements et aux menaces climatiques⁸⁶, en s'appuyant sur des processus écologiques et écosystémiques, des flux de matière et d'énergie, des interactions entre structures biotiques, etc. Avec la précaution de ne pas renforcer plus avant le dualisme homme-nature, cette nature est donc vue à la fois comme potentiellement menaçante et comme source de solutions pour l'adaptation et la (sur) vie humaine. Il s'agit finalement de « piloter la biodiversité »⁸⁷ à l'échelle de territoires où s'expriment les vulnérabilités socio-environnementales et où se définiront des politiques d'adaptation au changement climatique. Trois réflexions préalables sont proposées ici avant d'entrer dans les parties sectorielles du rapport, qui offrent une vue d'ensemble des connaissances et savoir-faire sur la manière dont les SfN peuvent constituer des options d'adaptation, un panorama des instruments d'action publique destinés à faciliter leur mise en œuvre à différentes échelles territoriales, et qui mettent en lumière des projets concrets dans lesquelles viennent s'incarner des solutions d'adaptation fondées sur la nature.

Les actions qui sous-tendent le développement des SfN dessinent un programme scientifique et politique appelé à être congruent avec celui de l'adaptation au changement climatique. Pour l'heure, ce programme se manifeste davantage par des projets pilotes d'expérimentation et de démonstration⁸⁸ que par des évolutions juridiques et réglementaires. Mais ces expérimentations constituent une voie nécessaire et utile dans une optique de *gestion adaptative*, c'est-à-dire une adaptation des pratiques de gestion en fonction des dynamiques socio-écologiques et des enseignements tirés d'observations de long terme, d'expérimentations et de connaissances au sens large du terme, incluant donc les savoirs locaux ou expérientiels. Ce « moment expérimental » des politiques d'adaptation mérite d'être soutenu et surtout élargi à différentes communautés d'acteurs dans le cadre de démarches participatives et apprenantes. De même, les démarches combinant sciences, arts et initiatives citoyennes constituent une voie prometteuse pour ne pas enfermer les SfN dans des débats d'experts et susciter – autant

86. Cela rejoint la définition de l'adaptation au changement climatique donnée dans le rapport du GIEC en 2014, dans laquelle « l'intervention humaine peut faciliter [l'ajustement des systèmes naturels] » afin de diminuer les dommages et de tirer parti des effets bénéfiques liés au changement climatique.

87. Blandin P., (2009).

88. De nombreux projets démonstrateurs, dont certains sont présentés dans le chapitre I du rapport, sont en effet mis en œuvre à travers le programme LIFE de l'Union européenne.

que valoriser – les dimensions sensibles, artistiques et culturelles des projets d'adaptation et de transformation des territoires face au changement climatique.

Un certain nombre de travaux se sont penchés ces dernières années sur les contraintes et les « barrières à la mise en œuvre de l'adaptation au changement climatique »⁸⁹, qu'elles soient institutionnelles, sociales, politiques, économiques et financières... En englobant différentes approches comme la gestion ou l'adaptation fondée sur les écosystèmes, la restauration et le génie écologique, le « concept stratégique » de SfN a ainsi été développé pour son potentiel performatif, c'est-à-dire pour passer d'un discours sur les barrières et les difficultés (de préservation de la biodiversité, d'adaptation au changement climatique...) à un discours porteur de solutions et d'innovations en termes d'ingénierie écologique, d'infrastructures vertes ou écologiques... De ce point de vue, l'UICN a investi le concept de SfN et joué un rôle d'entrepreneur politique pour l'inscrire sur différents agendas institutionnels, nationaux et internationaux. Ce travail de « mise en politique » s'exerce à l'interstice des mondes académiques, associatifs, administratifs, politiques et militants, de même qu'au croisement de plusieurs échelles d'action publique. La mise en politique de l'adaptation à l'échelle des territoires repose et reposera également sur un tel travail de cadrage cognitif et normatif, en particulier un travail d'argumentation : démontrer l'intérêt et les atouts de ces solutions par rapport aux techniques d'ingénierie civile et infrastructures dites « grises », leurs bénéfices pour différents services environnementaux dont le bien-être et la qualité de la vie, convaincre du bien-fondé de tels projets aussi bien à court terme qu'à long terme, débattre des atouts et des limites de différentes options et arbitrer en fonction de critères à discuter... Au-delà des seuls outils et instruments d'action publique, c'est donc bien le rôle de certains acteurs et réseaux d'acteurs qui pourra être décisif afin de traduire les objectifs et outils en de véritables projets d'adaptation sur et par les territoires.

À ce titre, et parmi les barrières identifiées pour la mise en œuvre d'une adaptation fondée sur la nature, sont relevés à la fois le manque de connaissance des différents outils (incitatifs, réglementaires, financiers) disponibles pour ce faire, mais aussi le poids des délimitations et découpages sectoriels, d'une action publique « en silo »⁹⁰. L'enjeu de la transversalité est ici encore remis sur l'établi, faisant appel à des capacités de médiation et d'intermédiation entre ces frontières institutionnelles pour élaborer des projets d'adaptation misant sur les SfN. En fonction des enjeux et des configurations propres à chaque territoire, des acteurs ou des organisations frontalières peuvent jouer un tel rôle de médiation⁹¹, à l'image des « GIEC territoriaux »⁹² qui se sont développés en France, ou de certaines organisations comme le Groupement d'intérêt public (GIP) littoral en Nouvelle-Aquitaine. Dans cette territorialisation des politiques d'adaptation, qui figure comme l'un des

89. Dupuis J., Knoepfel P., (2011).

90. Kabisch et al., (2016).

91. Rocle N., (2015).

92. AcclimaTerra, le Comité scientifique régional sur le changement climatique de Nouvelle-Aquitaine, présidé par le climatologue Hervé Le Treut, est un exemple de « GIEC territorial ».

grands objectifs du deuxième Plan national d'adaptation au changement climatique 2018-2022 (PNACC-2), de nouvelles interactions se dessinent et se dessineront avec d'autres initiatives menées en matière de préservation de la biodiversité⁹³, de gestion des risques, de limitation de l'artificialisation des sols, etc. Biodiversité, changement climatique, réduction des risques de catastrophes « naturelles » : les SfN, comme concept et discours visant à accroître la conscience de ce que la nature recèle comme potentialités, peuvent-elles constituer un horizon de dépassement des frontières de l'action publique en matière d'adaptation ? Les chapitres suivants pourront en ce sens fournir aux lecteurs quelques pistes pour innover en la matière et tendre vers cet horizon.

93. Le réseau de recherche régional sur la biodiversité de Nouvelle-Aquitaine, qui s'appuie sur l'initiative Ecobiose, pourrait être considéré comme un exemple de « IPBES territorial ».

Chapitre C

Climat

© Daniel Joseph-Reinette/Terra.



Politique publique

Les Solutions fondées sur la Nature dans la politique climat, du national au local

Marie Carrega,

Observatoire national sur les effets
du réchauffement climatique

Isabel-Monica Diaz,

Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages,
ministère de la Transition écologique et solidaire

Le deuxième Plan national d'adaptation au changement climatique 2018-2022¹ (PNACC-2) a pour objectif de mettre en œuvre les actions nécessaires pour adapter, d'ici 2050, les territoires de la France métropolitaine et outre-mer aux changements climatiques régionaux que les émissions passées de gaz à effet de serre accumulées dans l'atmosphère rendent désormais inéluctables. Le bon fonctionnement des écosystèmes est à l'origine d'une multitude de services écosystémiques, constituant ainsi une des clés pour une meilleure adaptation. Le renforcement de la résilience des écosystèmes est donc essentiel pour leur permettre de s'adapter au changement climatique et pour que l'on puisse s'appuyer sur les capacités des écosystèmes, en renforçant les synergies entre préservation des écosystèmes et usages humains. Le déploiement de Solutions fondées sur la Nature (SfN) pour améliorer la résilience des territoires et protéger l'environnement est ainsi une des priorités du PNACC-2 qui prévoit plusieurs actions en ce sens :

- protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés ou s'appuyer sur des pratiques agroécologiques pour relever directement les défis de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité ;
- améliorer l'accès à des informations toujours plus précises et plus pertinentes sur les impacts du changement climatique et sur les solutions pour s'y adapter, en particulier celles fondées sur la nature ;
- mieux informer et mieux sensibiliser la population aux multiples enjeux de l'adaptation au changement climatique et au potentiel offert par les SfN pour créer un contexte favorable à la mise en œuvre de mesures d'adaptation.

Si le changement climatique est un problème mondial, ses répercussions seront très différentes d'un territoire à un autre. C'est donc aux niveaux régional et local que se dessineront et se mettront en œuvre une grande partie des actions d'adaptation.

Différents documents stratégiques et de planification régionaux et locaux doivent d'ores et déjà intégrer des actions d'adaptation. C'est le cas en particulier des

1. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/adaptation-france-au-changement-climatique#e2>

Schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET) et des Plans climat-air-énergie territoriaux (PCAET).

Créé par la loi n° 2015-991 du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République dite loi « NOTRe » et piloté par chaque région, le SRADDET a vocation à devenir l'outil majeur de planification stratégique à l'échelon régional. Il fixe les orientations à moyen et long termes en matière d'aménagement du territoire et de développement durable. Le SRADDET doit être élaboré par toutes les régions à l'exception de l'Île-de-France, de la Corse et des outre-mers, pour lesquelles les outils de planification existent déjà et sont respectivement le SDRIF, le PADDUC et les SAR.

Ces documents sont conçus comme des outils intégrateurs des différentes politiques d'aménagement, ils sont prospectifs et prescriptifs. Ainsi, les SRADDET intègrent et simplifient les schémas régionaux préexistants du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE), et les autres schémas relatifs à la cohérence écologique, aux transports, aux infrastructures et aux déchets². Le SRADDET reprend «les éléments essentiels» des schémas auxquels il se substitue dans l'objectif d'une meilleure coordination des politiques d'aménagement du territoire.

En outre, les SRADDET et les politiques régionales ne peuvent ignorer les orientations nationales telles que le Plan national d'adaptation au changement climatique, le Plan biodiversité³ ou encore le Plan de rénovation énergétique des bâtiments dans leur stratégie d'aménagement. Ils doivent prendre en compte les Orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques (ONTVB) qui ont pour objectif de préserver et de remettre en bon état les continuités écologiques, en réduisant la fragmentation et la vulnérabilité des habitats naturels.

La région doit donc fixer des objectifs de moyen et long termes et des règles générales pour un aménagement durable, équilibré et résilient à l'échelon intermédiaire entre le national et le local. Cet outil ensemble qui sera approuvé *in fine* par le préfet de région, suppose donc une large concertation et un dialogue avec tous les acteurs qui concourent à l'aménagement durable du territoire et notamment les acteurs et décideurs qui élaborent les documents d'urbanisme d'échelle infrarégionale (SCoT, PCAET) car ce sont eux qui vont devoir mettre en œuvre, à l'échelle des EPCI, les orientations régionales.

L'élaboration d'un document intégrateur encourage à partager une vision transversale des enjeux thématiques et sectoriels et à identifier les leviers qui relèvent de chaque échelon, de chaque secteur et thématique pour atteindre des objectifs communs.

2. Le Schéma régional de cohérence écologique (SRCE), le Schéma régional de l'intermodalité (SRI), le Schéma régional des infrastructures et des transports (SRIT); et intégrera le Plan régional de prévention et de gestion des déchets (PRPGD).

3. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/plan-biodiversite>

Les SRADDET qui seront approuvés d'ici 2020 devront proposer des orientations et des règles générales de lutte contre le changement climatique en termes d'atténuation et d'adaptation. La transition écologique et l'adaptation au changement climatique⁴ sont des thèmes transversaux déterminants des SRADDET, et concernent notamment la gestion économe des ressources et du foncier et de lutte contre la consommation d'espaces agricoles, naturels et forestiers. Cet enjeu est majeur car la progression de l'artificialisation des sols accroît les impacts du changement climatique. En effet, en milieu urbain, l'imperméabilisation des sols (asphalte, constructions, ouvrages de protection) a un effet amplificateur des événements météorologiques extrêmes, tels que les pluies torrentielles (l'eau ne peut plus s'infiltrer dans le sol devenu imperméable), le risque d'inondation (les rivières canalisées supportent mal les crues qui ont besoin de plus d'espace d'expansion), les canicules à cause de l'effet d'îlot de chaleur. Un sol perméable, végétalisé par exemple ou intégrant une zone humide naturelle, peut au contraire protéger des vagues de chaleur, en stockant de grandes quantités d'eau et en empêchant les températures de monter. En définitive, la restauration des principaux écosystèmes terrestres et des sols dans les zones urbaines et rurales contribuent à l'adaptation au changement climatique (ex. : projet en cours des Portes du Vercors [Grenoble-Alpes métropole]).

En intégrant en leur sein des orientations régionales à la fois sur le climat et sur la biodiversité, les SRADDET constituent donc des outils de cohérence pour ces politiques publiques qui peuvent être mobilisés pour favoriser le développement de solutions d'adaptation au changement climatique fondées sur la nature.

Élaboré par les intercommunalités de plus de 20 000 habitants, le PCAET est un projet de territoire qui porte sur toutes les activités et tous les acteurs du territoire. Il a notamment pour objectifs de réduire les émissions de gaz à effet de serre du territoire et d'adapter le territoire aux effets du changement climatique afin d'en diminuer la vulnérabilité. Pour ce faire, il comprend un diagnostic, une stratégie et des objectifs chiffrés ; un programme d'actions ; un dispositif de suivi et d'évaluation. Le Code de l'environnement précise que le PCAET doit « favoriser la biodiversité pour adapter le territoire au changement climatique » (article L. 229-26).

D'autres documents sectoriels, sans explicitement citer le climat et la biodiversité, seraient de bons outils pour favoriser l'utilisation de SfN dans une optique d'adaptation au changement climatique. C'est notamment le cas du Plan local d'urbanisme intercommunal (PLUi) du Schéma de cohérence territoriale (SCoT), des Schémas d'aménagement de gestion des eaux (SAGE) et Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE), des Schémas régionaux de gestion sylvicole, des Stratégies régionales biomasse, des Stratégies régionales pour la biodiversité, des Programmes régionaux de la forêt et du bois, des Programmes de développement rural régionaux...

4. Les objectifs quantitatifs de maîtrise de l'énergie, d'atténuation du changement climatique, de lutte contre la pollution de l'air sont fixés par le schéma à l'horizon de l'année médiane de chacun des deux budgets carbone les plus lointains adoptés en application des articles L. 222-1-A à L. 222-1-D du Code de l'environnement et aux horizons plus lointains mentionnés à l'article L. 100-4 du Code de l'énergie.

Études de cas

Opération Portes du Vercors : aménagement d'un écoterritoire mixte sur les communes de Fontaine et Sassenage (Grenoble-Alpes métropole)

Isabel-Monica Diaz,

Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages,
ministère de la Transition écologique et solidaire

Il s'agit d'un projet de renouvellement urbain mêlant logements, activités, commerces, bureaux, loisirs et espaces verts, au cœur d'un projet territorial très vaste fondé sur la nature : « le parc MIKADO », dont l'enjeu est de mettre à jour et de valoriser une large trame verte et bleue, en désimperméabilisant, afin de créer une armature paysagère structurante support de la résilience de ce territoire et faire face au risque inondation. Repère d'Or GPATIC (Grand prix de l'aménagement en terrain inondable constructible) 2016.



Figure C1a – Place de la Poya aujourd’hui : des sols imperméabilisés.

© Marniquet – Aubouin/Roberta illustre.



Figure C1b – Place de la Poya demain : un territoire résilient où l’eau est au cœur du projet urbain pour de nouveaux usages respectant le fonctionnement hydraulique du site.

© Marniquet – Aubouin/Roberta illustre.

Le Plan Canopée de la métropole de Lyon

Frédéric Ségur,
métropole de Lyon



Figure C2 – Canopée de Lyon vue du ciel.

© Métropole de Lyon.

La métropole de Lyon s'est engagée dès le début des années 1990 dans la renaissance de son territoire, notamment par la plantation d'arbres sur les espaces publics, afin de corriger les excès de l'urbanisme fonctionnel des Trente glorieuses et de répondre à une très forte demande sociale. Cet engagement s'est notamment traduit par l'adoption d'une charte de l'Arbre⁵, véritable guide stratégique pour la collectivité, mais également philosophie partagée par plus de 120 acteurs du territoire issus des secteurs publics, privés et associatifs. La charte de l'Arbre s'appuie sur la redécouverte des services écosystémiques rendus par la nature, en particulier par les arbres, propose des principes et recommandations destinées à protéger et développer la « forêt urbaine », et balise des pistes d'innovation afin d'expérimenter des Solutions fondées sur la Nature (SfN) dans la conception des projets urbains.

5. https://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/media/pdf/environnement/arbres/20111214_gl_chartearbre.pdf

Depuis quelques années les enjeux du changement climatique sont devenus un des objectifs majeurs de cette stratégie. La principale vulnérabilité de l'agglomération lyonnaise vis-à-vis de ce changement porte en effet sur les risques sanitaires liés aux canicules estivales, risques amplifiés par le fort effet d'îlot de chaleur urbain résultant de la taille, de la densité et de la minéralité de la métropole. Le Plan Canopée⁶, véritable hybridation des principes de la charte de l'Arbre avec les objectifs d'adaptation du Plan climat⁷, se propose d'amplifier la mobilisation des acteurs du territoire autour d'actions favorisant le développement des surfaces végétalisées et ombragées. Le lien retrouvé entre cette végétation et l'eau pluviale considérée comme une ressource permet d'envisager une amélioration du confort thermique par un accroissement de l'évapotranspiration. Le Plan Canopée est donc une démarche opérationnelle, qui mobilise les acteurs de la charte de l'Arbre et du Plan climat autour d'objectifs concrets déclinés en une série de vingt-cinq actions.

Ces actions portent d'abord sur la préservation de l'existant : la métropole de Lyon possède un indice de canopée de 27 % (mesure de la surface ombragée de l'ensemble des arbres du territoire par rapport à la superficie totale), créé par environ 2,5 millions d'arbres. Cette analyse de la canopée montre que 80 % de ces arbres se trouvent sur des domaines privés, mais aussi qu'il existe de très fortes inégalités territoriales qui peuvent avoir des incidences sur la qualité de vie et la santé des habitants. L'objectif en cours de construction est de planter au moins 300 000 arbres sur le territoire d'ici 2030 pour atteindre 30 % de canopée, en veillant à réduire ces inégalités territoriales. Cet objectif est collectif et se réalisera par la capitalisation de toutes les initiatives, grandes ou petites, des collectivités, mais aussi et surtout des habitants, associations, aménageurs, copropriétés, entreprises... afin de créer une dynamique susceptible de démultiplier les efforts de plantation. Elle nécessite donc surtout beaucoup de pédagogie, d'échanges mais aussi une véritable animation territoriale. La métropole passe ainsi concrètement d'une logique d'institution à une logique de territoire.

6. <https://www.nature-en-ville.com/les-enjeux/concretiser-le-maillage-vert-et-bleu-et-instaurer-des-modes-de-gestion-ecologique/le-1>

7. <https://www.grandlyon.com/projets/plan-climat.html>

Chapitre D

Eau et biodiversité

© Thierry Degen/Terra.



Connaissances

Des Solutions d'infiltration et de recharge des aquifères fondées sur la Nature pour adapter la gestion de la ressource en eau aux impacts du changement climatique

**Marie Pettenati
et Nathalie Dörfliger,**

Bureau de recherches géologiques
et minières (BRGM)

À l'échelle terrestre, la composante dite « bleue » du cycle de l'eau, celle associée aux écoulements, que ce soit en surface (rivières, fleuves, lacs, zones humides) ou dans le milieu souterrain (sol, zone non saturée et zone saturée des aquifères) joue un rôle important pour les écosystèmes et pour les besoins des sociétés humaines. Une continuité hydraulique au niveau du bassin-versant, l'unité hydrologique, existe entre les différents compartiments ou réservoirs : les eaux de surface sont étroitement liées aux eaux souterraines des aquifères libres superficiels. Les eaux souterraines assurent le débit des cours d'eau ainsi que la pérennité des écosystèmes aquatiques associés (faune et flore), en période d'étiage.

Dans un contexte de changement climatique, les eaux souterraines qui sont à l'échelle globale nettement plus importantes que les eaux de surface¹ (facteur de 252 rapport Esout/Esurf), et qui constituent des ressources importantes dont dépendent des écosystèmes et de nombreux pays, risquent d'être davantage sollicitées et fragilisées. La distribution spatio-temporelle des précipitations et des températures est modifiée, entraînant des excès d'eau suite à des pluies intenses ou répétées, sur des surfaces restreintes et des périodes limitées avec des inondations, mais aussi des manques d'eau, avec des recharges hivernales déficitaires des aquifères et une augmentation des températures sur de plus longues périodes de l'année. La pression sur les ressources en eau, que ce soit pour l'alimentation en eau potable ou pour l'agriculture, liée aux sécheresses peut entraîner des surexploitations d'aquifères, avec pour conséquence de possibles problèmes d'assecs² à l'aval du bassin, des désordres géotechniques et en milieu littoral des intrusions salines. L'augmentation de la demande en eau associée à une croissance de la population et à des modifications climatiques nécessite la mise en œuvre de stratégies de gestion flexibles pour assurer le remplissage des aquifères.

Des Solutions fondées sur la Nature (SfN), avec une modification de l'occupation du sol (haies, désimperméabilisation de zones urbaines, revégétalisation...), vont

1. Shiklomanov I.A., Rodda J.-C., (2003).

2. Un cours d'eau est considéré en assec lorsque l'eau est totalement évaporée ou infiltrée sur plus de 50 % de la station d'observation. (Source : Agence française pour la biodiversité).

favoriser la retenue de l'eau de pluie, l'humidité dans le sol, l'infiltration dans le sous-sol et donc la recharge des aquifères. Favoriser le maintien de zones humides naturelles (voir figure D1) ou créer des zones humides pourrait être plus durable et plus économique que des infrastructures grises traditionnelles telles que des barrages ou retenues d'eau³. Peu de travaux cependant existent à ce jour sur l'impact des SfN sur les eaux souterraines tant du point de vue de la quantité (recharge) que de la qualité et des écosystèmes associés. Quelques publications traitent de la relation entre le type de végétation, l'intensité de l'urbanisation⁴ et l'impact sur l'infiltration et la recharge des nappes. Le passage d'une prairie à une forêt entraîne une diminution de la recharge des eaux souterraines ; *a contrario* une conversion en terre agricole peut conduire à une augmentation de la recharge, pour un même contexte climatique et position dans un bassin-versant. Une végétation avec des racines profondes (arbres fruitiers, 15 à 20 m de profondeur), en tête de bassin-versant a pour conséquence une réduction évidente de la recharge des eaux souterraines, celle-ci pouvant être réduite à zéro⁵.



Figure D1 – Roselière d'Agon-Coutainville. Zone de recharge des eaux usées traitée de la station de la Mare à Jore.

© BRGM.

3. WWAP/UN Water, (2018).

4. Minnig et al., (2018).

5. Li et al., (2018).

Cependant, le moyen de favoriser l'infiltration par le biais des SfN peut s'inscrire dans le domaine de la gestion de la recharge des aquifères (voir figure D2). Ce sujet a été traité dès la fin des années 1970 avec la mise en œuvre de recharge artificielle dans un but d'optimiser la production d'eau pour l'alimentation en eau potable, du point de vue économique et énergétique.

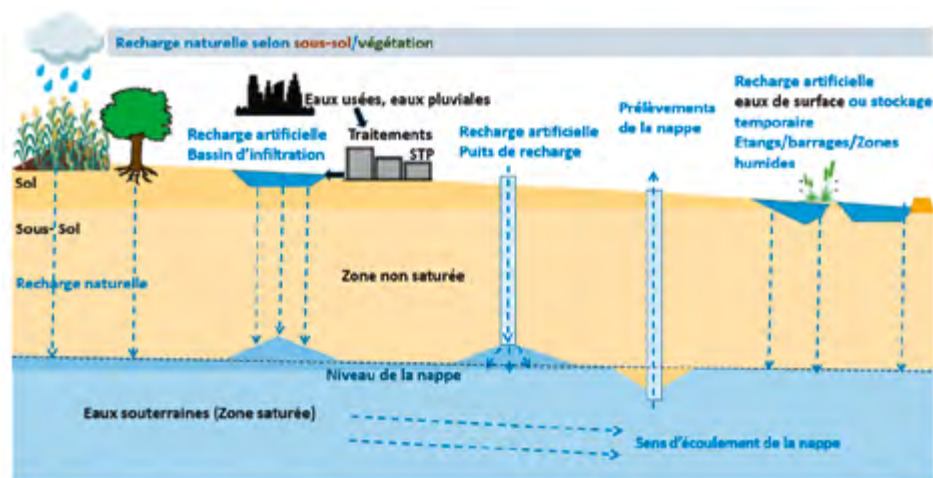


Figure D2 – Exemples de dispositifs de recharge indirecte des aquifères à partir de bassin d'infiltration aménagés ou dépressions naturelles, zones humides alimentées par différentes sources d'eau (eaux usées traitées, eaux de pluie, eaux de surface) et recharge directe par puits.

© BRGM, 2019.

Dès les années 2000, la recharge artificielle des aquifères, plus connue sous sa dénomination anglaise *Managed aquifer recharge* (MAR) s'est développée à travers le monde comme moyen durable pour assurer la protection de l'alimentation en eau potable issue des aquifères aussi bien en termes de qualité que de quantité⁶. Plusieurs dispositifs existent, parmi lesquels des bassins d'infiltration, le filtrage d'eau de rivière sur berge... Ces derniers sont des dispositifs qui peuvent constituer des solutions d'adaptation de la ressource en eau fondées sur la nature. En effet, ces dispositifs favorisent le transfert d'eau de surface vers le milieu souterrain et prévenant ainsi les risques d'inondation, contrôlent l'intrusion saline en milieu côtier, assurent un stockage de l'eau locale réduisant les coûts de pompage et de réseaux et, permettent l'amélioration de la qualité de l'eau en adaptant les traitements selon le type d'eau infiltrée. Les principales sources d'eau utilisées pour les bassins d'infiltration, constituant de nouvelles zones humides, comprennent des eaux de surface et des eaux pluviales d'orage, des effluents de stations de traitements d'eau (STEP) après différents

6. Bouwer, (2002); Dillon, (2004); Asano, (1985).

stades de traitement ainsi que des rivières recevant des effluents⁷. La composition chimique des eaux de STEP est variable dans le temps ; l'eau s'infiltrant réagit avec la composition minéralogique et organique du sol et sous-sol. Une barrière perméable réactive peut être intégrée à la base du bassin d'infiltration. Des processus géochimiques prennent place, en fonction des conditions, et donnent lieu à des processus de dénitrification par exemple, ou de retrait du carbone organique, du phosphate, du fer par exemple. La qualité des eaux souterraines peut être ainsi améliorée voire amplifiée⁸.

Les potentiels obstacles concernant la mise en place de tels systèmes résident dans i) la possibilité de colmatage depuis la surface réduisant les capacités d'infiltration du système⁹, ii) l'évolution à long terme des processus biogéochimiques pouvant modifier les conditions d'oxydoréduction¹⁰ et conduire au relargage de certains métaux et métalloïdes comme le manganèse¹¹, iii) le devenir et le transport des micropolluants, pathogènes et bactéries et gènes antibio-résistants après le traitement¹² et iv) les contraintes réglementaires européennes¹³ associées à l'impact de ces activités sur l'état qualitatif des masses d'eau. Afin de pallier et d'anticiper les éventuels inconvénients, les méthodes de traitements se sont développées en fonction de l'usage de l'eau, particulièrement dans le contexte de la réutilisation des eaux usées traitées (REUT) que ce soit pour un usage agricole ou d'eau potable, afin de répondre aux critères réglementaires et de réduire les risques associés. Les systèmes de traitement intensifs¹⁴ (oxydation avancée, ultrafiltration) combinés aux SfN constituent une solution de plus en plus adaptée pour la préservation des écosystèmes dans un contexte de stress hydrique croissant. Ces systèmes hybrides requièrent un suivi rigoureux de la qualité de l'eau ainsi qu'une modélisation fine des processus et du transport en aquifère afin de détecter et de prévoir les effets négatifs et les risques sur les masses d'eau. Des études précédentes sur la modélisation des transferts réactifs¹⁵ (voir figures D3 et D4) ont permis d'estimer les bénéfices des systèmes MAR existants pour l'amélioration de la quantité et de la qualité d'eau mais également de dimensionner les futures installations et leurs interactions avec les écosystèmes environnants. Pour aller plus loin, les technologies de l'information et de la communication sont utilisées afin de combiner le suivi en ligne de la qualité de l'eau, adapté à ces systèmes hybrides, et l'anticipation par l'utilisation de modèle comme support de décision pour l'opérabilité des sites MAR comme par exemple l'outil dédié à la gestion de la qualité des eaux souterraines des eaux du site de REUT d'Agon-Coutainville¹⁶.

7. Diaz-Cruz M. S., Barcelo D., (2008); Maeng *et al.*, (2012).

8. Ollivier *et al.*, (2013); Grau-Martinez *et al.*, (2018).

9. Pavelic *et al.*, (2007).

10. La valeur du potentiel d'oxydoréduction des eaux conditionne la stabilité des oxydes métalliques.

11. Goren *et al.*, (2012).

12. Pal *et al.*, (2010).

13. Directive 2000/60/CE.

14. Zucker *et al.*, (2015).

15. Pettenati *et al.*, (2012); Thiéry D., (2010); Picot-Colbeaux *et al.*, (2017).

16. Pettenati *et al.*, (2019).

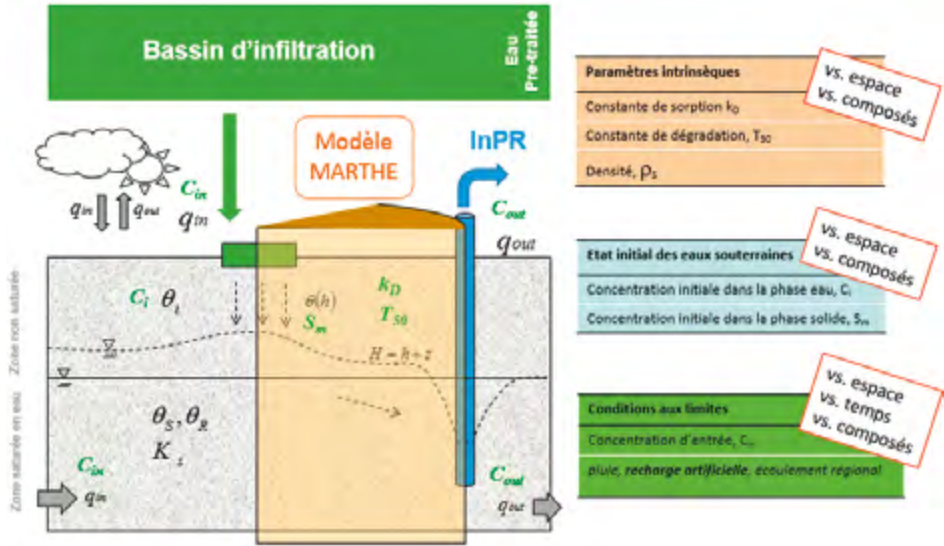


Figure D3 – Modèle conceptuel de transport hydrodynamique.

Source : Picot-Colbeaux et al., (2017), EIP Water Conference 2017.

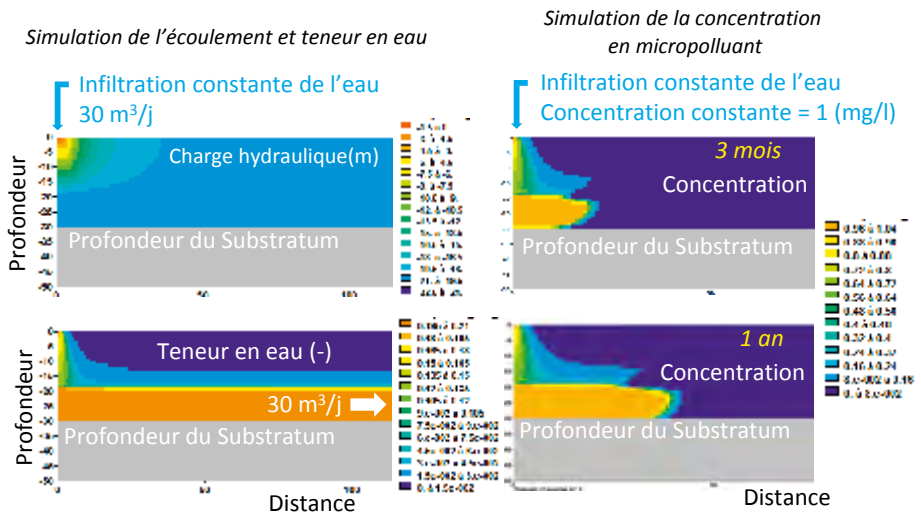


Figure D4 – Résultats de simulation issu du modèle conceptuel de transport hydrodynamique. Le modèle permet d'envisager le temps de transfert du micropolluant considéré depuis le bassin d'infiltration jusqu'aux eaux souterraines.

Source : Picot-Colbeaux et al., (2017), EIP Water Conference 2017.

Évaluation de l'efficacité des services écosystémiques : comparaison des solutions grises et vertes pour la gestion des eaux pluviales

Marc Barra,

Agence régionale de la biodiversité
en Île-de-France

L'idée de substituer, du moins en partie, les infrastructures grises par des infrastructures vertes en ville se fraye de plus en plus le chemin. Jusqu'à présent, les villes ont toujours fait appel aux techniques du génie civil largement basées sur des interventions lourdes (engins de travaux publics) et les systèmes traditionnels « gris » fortement consommateurs de ressources non renouvelables (énergies fossiles) et émetteurs de polluants (CO₂, NOx) eux-mêmes, impliqués dans les changements climatiques globaux (effet de serre). L'avènement du changement climatique et plus généralement, des changements globaux, a fait naître de nouveaux concepts et émerger le champ de la nature en ville comme réservoir de solutions.

Dans le cas de la gestion des eaux pluviales, alors que les techniques « classiques » ont longtemps cherché à maîtriser totalement le cycle de l'eau par des infrastructures grises comme les canalisations, les cuves enterrées, les réservoirs et le génie civil qui va avec, de nombreux rapports d'études visent à promouvoir la mise en place de techniques alternatives au « tout-tuyau » largement fondées sur la pleine terre et la végétation, qui favorisent l'infiltration et l'épuration des eaux à la parcelle et la multifonctionnalité des ouvrages de gestion des eaux pluviales. Les sols comme les plantes jouent un rôle d'éponge en facilitant l'infiltration naturelle de l'eau de pluie vers les nappes ou la cime au sein du végétal. Les aménagements végétalisés peuvent prendre plusieurs formes en ville, comme des noues¹⁷, des jardins de pluie, des mares, ou des espaces verts qui font office de zone de récupération d'eau. Sur la voirie ou les espaces contraints, on peut utiliser des revêtements comme des dalles enherbées ou des pavés drainants végétalisés.

Nombreuses sont les collectivités ou les projets qui s'en inspirent aujourd'hui, démultipliant les surfaces végétalisées en pleine terre pour limiter la saturation des réseaux, voire pour s'en passer totalement. Ce « 100% infiltration à la parcelle » est déjà à l'œuvre dans plusieurs collectivités : en Seine-Saint-Denis, des espaces verts ont vocation à absorber les eaux pluviales, tandis qu'à Nantes, l'éco-quartier de la Bottière-Chénaie est totalement perméable à la pluie. Multiplier la nature en quantité et en qualité dans les espaces urbains permet non seulement de mieux gérer le ruissellement mais aussi d'être utile lors des périodes de canicule pour faire de l'ombre et rafraîchir. C'est aussi un gage d'amélioration de la

17. Une noue est une sorte de fossé peu profond et large, végétalisé, qui recueille provisoirement de l'eau de ruissellement.

santé et du cadre de vie pour les riverains. Les infrastructures vertes ont de précieux qu'elles sont multifonctionnelles.

L'Agence régionale de la biodiversité en Île-de-France a mené une étude permettant de comparer le coût global des infrastructures grises et vertes pour la gestion des eaux pluviales. L'agence a comparé les coûts liés à plusieurs techniques : bassins enterrés en béton, structures alvéolaires ultralégères, noues végétalisées, tranchées drainantes et bassins de rétention plus ou moins végétalisés. Les premiers résultats montrent que les noues végétalisées sont la solution la plus économique, quelle que soit la période de retour de la pluie considérée. Cette alternative consomme toutefois de l'espace foncier, ce qui n'est pas le cas des tranchées drainantes, deuxième option la plus économique. Les bassins de rétention ouverts sont également un type de solution économique, surtout lorsque les besoins de stockage sont grands. Ils consomment également de la surface foncière mais cela est compensé par leur aspect multifonctionnel. Enfin, les bassins de stockage enterrés en béton s'avèrent être les solutions les plus coûteuses. Concrètement, une étude de cas à Nanterre montre que le coût annuel pour gérer 1 m³ d'eau pluviale par le réseau alternatif mis en place dans le parc de Chenevieux est compris entre 6,33 et 11,06 euros/m³ tandis que celui d'une infrastructure grise de la rue Anatole-France, à Levallois-Perret, est évalué à au moins 37,07 euros/m³ sur la base d'une même quantité d'eau à gérer.

Politiques publiques

**Maud Berel, Ghislaine Ferrere, Antoine Lombard,
Audrey Massot, Luc Mauchamp, Sabine Moraud
et Emmanuel Morice**

Direction de l'eau et de la biodiversité,
ministère de la Transition écologique et solidaire

Les écosystèmes naturels participent aux grands cycles biogéochimiques, en particulier les cycles de l'eau et du carbone. Ils ont donc une action directe sur le climat.

Par ailleurs les écosystèmes naturels sont particulièrement impactés par les dérèglements climatiques.

La protection, la restauration et la gestion durable des écosystèmes, à la base des Solutions fondées sur la Nature (SfN), sont au cœur des politiques de l'eau et de la biodiversité initialement mises en place pour préserver les ressources naturelles. C'est en 2016 que la loi pour la reconquête de biodiversité, de la nature et des paysages a introduit la nécessité de prendre en compte des services rendus par la biodiversité ou services écosystémiques dont les services de régulation (régulation de l'érosion, protection contre les risques naturels, régulation du cycle de l'eau, régulation du climat local, régulation de la qualité de l'eau) qui participent à l'adaptation au changement climatique.

Des écosystèmes abritant une forte diversité biologique seront plus fonctionnels et résilients face aux impacts du changement climatique. Par exemple la préservation ou la restauration de milieux humides permet de préserver les capacités de stockage de l'eau qui pourra être restituée lors de périodes sèches qui risquent de s'intensifier et de devenir plus récurrentes à l'avenir avec le changement climatique. La protection et la gestion durable d'écosystèmes permettent également de limiter certains impacts du changement climatique : la protection et la restauration de dunes et mangroves protègent les côtes et les zones humides participent à la régulation des inondations.

Aussi, dans le cadre des politiques de l'eau et de la biodiversité, différents outils sont mis en place pour protéger, restaurer et gérer durablement les écosystèmes : les différents outils d'aires protégées (parcs nationaux, parcs naturels marins, réserves naturelles, réseau de sites Natura 2000...), la trame verte et bleue pour lutter contre la fragmentation des milieux, les schémas directeurs d'aménagement et de gestion de l'eau pour protéger et gérer durablement la ressource en eau.

Ces outils mis à disposition des acteurs sont bien identifiés comme utiles à la protection des milieux mais ils peuvent aussi contribuer à d'autres enjeux de politiques publiques tels que la protection contre les risques naturels, la santé humaine, l'adaptation au changement climatique.

Il est donc important de rendre plus visible l'intérêt des services retirés des écosystèmes et de pousser les différents acteurs à recourir à ces SfN dans les politiques d'aménagement, de gestion des risques...

Les Solutions fondées sur la Nature dans la maîtrise des eaux pluviales et de ruissellement

L'adaptation des territoires au changement climatique pour les rendre plus résilients à la survenue d'événements climatiques extrêmes ou en atténuer les effets est un défi majeur que les collectivités doivent contribuer à relever. Il est utile de rappeler que cette obligation figure à l'article L. 110 du Code de l'urbanisme : « Le territoire français est le patrimoine commun de la nation. Chaque collectivité publique en est le gestionnaire et le garant dans le cadre de ses compétences. [...] Leur action en matière d'urbanisme contribue à la lutte contre le changement climatique et à l'adaptation à ce changement ».

Le changement climatique pourrait amplifier les risques d'inondations par ruissellement dans le futur. Les projections climatiques indiquent aujourd'hui que les épisodes de pluies intenses dans le sud-est de la France seront plus nombreux dans les prochaines décennies d'où une nécessaire vigilance. En outre-mer, s'agissant des phénomènes cycloniques, ceux-ci pourraient devenir plus violents et occasionner des précipitations encore plus intenses.

La maîtrise des eaux pluviales et de ruissellement peut constituer une des réponses à l'enjeu d'adaptation au changement climatique. La prise de conscience de l'importance de la gestion des eaux pluviales pour l'adaptation au changement climatique est récente mais fait déjà l'objet de nombreuses démarches intéressantes notamment à l'initiative des collectivités locales, comme le concept de « ville-éponge ».

L'objectif de ce concept est de faciliter l'infiltration des eaux pluviales pour que les nappes souterraines puissent pleinement jouer leur rôle de stockage des eaux pluviales et de soutien aux milieux humides et aux rivières en période d'étiage. L'adaptation au changement climatique passe donc à la fois par la limitation de l'imperméabilisation des sols et par l'aménagement ou le réaménagement de zones de nature, voire de zones humides qui, en zone urbaine, pourront servir d'îlots de fraîcheur en cas d'augmentation des températures. Ces zones jouent également un rôle important pour la restauration et la protection de la biodiversité.

Il faut aussi mettre en avant la multiplicité des services rendus par les zones humides aux zones urbaines : rôle de réduction des inondations, et des submersions pour les villes côtières, de rafraîchissement urbain et donc d'agrément et de qualité de vie, sans parler du soutien à la biodiversité, elle aussi menacée par ces changements, en ville.

C'est ainsi dans l'objectif de démontrer l'intérêt de s'appuyer sur ces milieux plutôt que de les considérer comme une gêne, que le ministère en charge de l'Écologie a organisé en 2012 et 2017, en partenariat avec l'Association des maires

de France, l'Agence française pour la biodiversité et les agences de l'eau, deux grands prix « Milieux humides et urbanisme ».

Les Solutions fondées sur la Nature dans le Plan biodiversité

Devant le constat de la dégradation rapide de la biodiversité, et ce malgré les politiques conduites ces dernières décennies, le Gouvernement a adopté le Plan biodiversité¹⁸ le 4 juillet 2018, avec trois objectifs stratégiques :

- accélérer la mise en œuvre de la Stratégie nationale pour la biodiversité (SNB) sur ses deux dernières années (2019 et 2020) ;
- préparer la future stratégie post-2020 en expérimentant à grande échelle de nouvelles approches ;
- renforcer la position de la France dans les grandes échéances internationales, pour lesquelles elle souhaite jouer un rôle d'entraînement fort.

Ce plan comporte 6 axes, 24 objectifs et 90 actions, couvrant un spectre très large d'actions en faveur de la biodiversité. L'approche par les SfN en constitue une caractéristique forte et de nombreuses mesures de recherche, d'expérimentation ou de mise en œuvre y font référence. Il rappelle d'ailleurs dans son introduction que « nous ne pourrions réussir le défi du climat sans l'appui des écosystèmes qui sont nos premiers alliés dans cette lutte ».

L'Action n° 4 leur est entièrement dédiée, prévoyant le déploiement de SfN sur l'ensemble du territoire. Une première sous-action prévoit une mobilisation du monde de l'assurance – via un colloque national – pour une meilleure prise en compte de ces méthodes de prévention des risques (par exemple le maintien ou la restauration d'une zone d'expansion de crue en prairie naturelle plutôt que par une digue maçonnée). Une seconde sous-action a pour objectif d'expérimenter à grande échelle d'ici à 2025 des solutions innovantes d'adaptation des territoires au changement climatique dans vingt territoires pilotes. Les agences de l'eau sont particulièrement investies à cet effet.

D'autres actions du Plan mobilisent largement les SfN. On peut citer l'Action n° 1 relative à l'intégration renforcée de la nature en ville, qui intègre largement le rôle important joué par la végétation dans la lutte contre les îlots de chaleur, ou encore des sols non imperméabilisés dans la gestion des eaux pluviales.

Le rapport parlementaire relatif à la préservation et à la restauration des zones humides prévu par l'Action n° 5 insiste sur le rôle majeur joué par ces milieux naturels dans la régulation des crues. En matière de maîtrise de l'artificialisation, l'Action n° 11 vise la réalisation de dix projets innovants de renaturation ou désartificialisation, pour renforcer la contribution de la nature à l'adaptation au changement climatique en zone urbanisée. En milieu agricole, l'Action n° 24 relative aux paiements pour services environnementaux intègre très largement les bénéfices attendus de pratiques renforçant le rôle des écosystèmes dans l'adaptation au

18. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/plan-biodiversite>

changement climatique : maintien de couverts prairiaux ou culturels (lutte contre l'érosion des sols), maintien d'éléments arborés dans le territoire agricole (régulation climatique, abris contre les fortes chaleurs), renforcement des populations de pollinisateurs (accompagnement des transitions de végétation et de faune), etc. Les actions n° 48 et 49 prévoient de renforcer la préservation des sols et de leurs fonctionnalités, ce qui est essentiel si l'on souhaite qu'ils disposent de toutes les capacités de résistance et de résilience face au changement climatique d'une part, et qu'ils puissent par ailleurs assurer leurs fonctions de prévention de l'érosion. L'Action n° 28 aborde une autre facette des SfN, par le développement de connaissance sur les effets bénéfiques de la biodiversité pour la prévention et la lutte contre les maladies humaines, végétales ou animales, en alternative aux solutions mobilisant la chimie de synthèse par exemple. Pour les cultures végétales, l'utilisation d'un mélange de variétés d'une même espèce limite la propagation de maladies du fait de la sensibilité différente des variétés. Pour la santé humaine, la compétition naturelle entre les vecteurs crée des effets de dilution qui limitent la propagation des maladies. L'enjeu est particulièrement fort dans la perspective de nouvelles maladies induites par les bouleversements climatiques.

Les nouveaux outils territoriaux comme les territoires engagés pour la nature (Action n° 3) ou les contrats de transition écologique « Biodiversité » (Action n° 47) pourront généraliser la mobilisation de SfN au plus près des enjeux locaux.

De manière transversale enfin, l'ensemble du Plan biodiversité – et en particulier les nombreuses actions qui recherchent une diminution des pressions de la société sur les espèces et les écosystèmes – considère la nécessité de préserver ou restaurer la biodiversité non seulement pour elle-même, mais également pour que les milieux conservent ou retrouvent leurs fonctionnalités et leur résilience, et produisent ainsi gratuitement de multiples services écosystémiques. Ces services de prévention des crues ou submersion côtière, de production d'aliments ou matières premières adaptées aux nouvelles conditions climatiques contribuent pleinement à la mobilisation des SfN face au changement climatique.

La Trame verte et bleue : adaptation au changement climatique et déplacements des espèces et des niches écologiques

● *Rappel du contexte*

Le changement climatique a des conséquences directes sur les organismes vivants (élévation des températures moyennes et extrêmes) mais également indirectes (renforcement des périodes de sécheresse et modification des écosystèmes).

Dans ce cadre, les espèces ont des capacités d'adaptation :

- la première est une capacité d'adaptation phénotypique, la morphologie ou le comportement de l'espèce est modifié (adaptation de la période de nidification chez certains oiseaux par exemple) ;

- la deuxième est une capacité d'adaptation phénologique. La phénologie s'apparente à des perturbations du cycle de vie des espèces : déplacement dans le temps de la floraison, de l'hibernation, de la reproduction, naissances.

Les populations d'espèces s'adaptent par sélection naturelle à de nouvelles conditions.

Dans les deux derniers cas, l'adaptation des espèces est donc conditionnée à leurs capacités à migrer et à conquérir de nouveaux territoires et à la présence de populations d'espèces importantes, génétiquement diversifiées et non isolées les unes des autres.

Ces deux conditions permettant de favoriser l'adaptation des espèces ont été proposées dès l'origine des réflexions pour la mise en place de la politique Trame verte et bleue (TVB), à travers l'identification de continuités écologiques constituées de réservoirs de biodiversité (comprenant les populations d'espèces les plus riches) et de corridors écologiques (permettant de relier ces réservoirs). Les corridors eux-mêmes permettent de maintenir des échanges génétiques entre les populations des réservoirs.

Dans ce contexte, la TVB apparaît alors comme une solution pour aider la biodiversité à s'adapter, les corridors offrant des possibilités de déplacements et les réservoirs de biodiversité constituant des zones refuges/tampons.

● *La mise en œuvre de la Trame verte et bleue*

La TVB est une démarche qui vise à maintenir et à reconstituer un réseau de continuités écologiques sur le territoire national afin que les populations d'espèces animales et végétales puissent se déplacer et accomplir leur cycle de vie (alimentation, reproduction, repos...) dans des conditions favorables.

La TVB est mise en œuvre à l'échelle régionale à travers les Schémas régionaux de cohérence écologique (SRCE) qui ont été élaborés conjointement par l'État et la collectivité régionale. Les SRCE identifient dans un atlas cartographique au 1/100 000^e notamment les réservoirs de biodiversité, les corridors et les obstacles aux continuités écologiques régionales. Ils comprennent également un plan d'action stratégique qui définit les modalités de leur mise en œuvre.

En Corse et dans les départements d'outre-mer, un volet spécifique à la TVB est intégré respectivement dans le plan d'aménagement et de développement durable de la Corse et dans les schémas d'aménagement régionaux. En outre-mer, seul le Schéma d'Aménagement Régional (SAR) de Guyane intègre à ce jour un volet relatif aux continuités écologiques.

Dorénavant, en métropole, à l'exception de l'Île-de-France¹⁹, ce sont les schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires

19. En Île-de-France les politiques climat et de préservation de la biodiversité sont respectivement mises en œuvre à travers le SRCAE et le SRCE.

(SRADDET) qui comporteront un volet « préservation et restauration de la biodiversité » en lieu et place du SRCE.

La politique TVB est en outre encadrée à l'échelle nationale par les Orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques (ONTVB).

En métropole la quasi-totalité des SRCE ont été mis en œuvre et de nombreux appels à projets portés par les Régions, l'État ou les agences de l'eau (parfois portés conjointement entre ces acteurs) ont été mis en place.

Les documents d'urbanisme intègrent au fur et à mesure de leur renouvellement les enjeux de continuités écologiques dans leurs objectifs, documents graphiques, prescriptions.

Les Solutions fondées sur la Nature dans la politique de l'eau

Institués par la loi sur l'eau de 1992, les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) et les schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) sont des outils de planification de la ressource en eau et des milieux aquatiques, agissant respectivement à l'échelle du bassin-versant et du sous bassin-versant. Œuvrant en faveur d'une gestion intégrée de la ressource en eau, leur modèle de planification a été repris au niveau européen par la directive-cadre sur l'eau (DCE) de 2000.

La préservation et la restauration des écosystèmes aquatiques constituent sans aucun doute l'un des principaux leviers en vue d'atteindre l'objectif de gestion équilibrée de la ressource en eau. C'est en cela que les SDAGE fixent des orientations générales en matière de préservation des zones humides et des zones d'expansion de crues, de restauration de la continuité écologique et de l'hydromorphologie des cours d'eau, de prise en compte de la trame verte et bleue (au travers du Schéma régional de cohérence écologique) dans toute opération d'aménagement... Les SDAGE du troisième cycle de gestion de la DCE 2021-2027, dont l'élaboration démarre en 2019, réaffirmeront de manière toujours plus prononcée les bénéfices qui sont ceux des SfN, en termes d'atteinte de l'objectif de bon état des masses d'eau et d'adaptation au changement climatique.

Ces orientations générales sont ensuite déclinées et adaptées aux enjeux locaux par l'intermédiaire des dispositions et des règles du SAGE, qui s'opposent respectivement aux décisions administratives dans le domaine de l'eau et aux tiers.

En vue de formuler ces orientations et dispositions, ces outils de planification mettent à profit leur connaissance poussée du territoire (via un état des lieux précis des ressources en biodiversité) et leur vision prospective reposant sur l'élaboration de scénarios d'évolution du territoire, les impacts du changement climatique constituant une donnée d'entrée essentielle à la construction de ces scénarios.

Élaborés et mis en œuvre par la Commission locale de l'eau (CLE), on compte aujourd'hui 191 SAGE en France. Ils reposent sur une véritable démarche de concertation et de co-construction²⁰, visant la reconquête de l'état écologique des cours d'eau et plus globalement la gestion équilibrée de l'eau. Pour ce faire, ils s'appuient inévitablement sur le déploiement de SfN, mises en œuvre au travers d'outils opérationnels que sont notamment les contrats territoriaux, les Programmes d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI)...

La compétence Gemapi²¹ (Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations), introduite par les lois MAPTAM et NOTRe de 2014 et 2015 et confiée aux communes et aux EPCI à fiscalité propre, s'inscrit dans ce même objectif de mieux articuler monde de l'eau et monde de l'aménagement. Elle est porteuse d'un message central : la prévention des inondations doit passer par une meilleure gestion des milieux aquatiques et de la ressource en eau (maintien et restauration des zones humides, diversité des ripisylves²²...).

En matière de déploiement des SfN, on pourra se référer par exemple aux actions entreprises dans le cadre du SAGE de la baie de Saint-Brieuc et du SAGE de l'Arve :

- le SAGE de la baie de Saint-Brieuc : mise en place d'un référentiel hydrographique à l'échelle du SAGE pour la préservation, la gestion et l'aménagement des milieux aquatiques²³;
- le contrat de rivière du Giffre (syndicat mixte de l'Arve) : restauration des espaces de mobilité du cours d'eau du Giffre²⁴.

Plan national en faveur des milieux humides : adaptation aux impacts du changement climatique

Devant la disparition persistante et rapide des milieux humides (têtes de bassin, lacs, tourbières, étangs, mares, marais, plaines alluviales, prairies humides, lagunes, estuaires, mangroves...), plusieurs plans nationaux d'action se sont succédés, dont le troisième Plan national d'actions en faveur des milieux humides 2014-2018²⁵ toujours en cours de mise en œuvre.

Il devient en effet urgent de considérer à leur vraie valeur les nombreux services rendus par ces milieux, trop méconnus et trop menacés : c'est à quoi nous invite le rapport parlementaire « Terres d'eau, terres d'avenir » remis en janvier 2018 au

20. Cette démarche de concertation et de co-construction a permis d'associer des représentants de collectivités territoriales, des représentants d'usagers (parmi lesquels des représentants de chambres d'agriculture, d'associations syndicales de propriétaires, d'associations de protection de l'environnement...).

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

22. Une ripisylve est une formation végétale qui se développe sur les bords des cours d'eau ou des plans d'eau situés dans la zone frontière entre l'eau et la terre.

23. <https://www.gesteau.fr/vie-des-territoires/constitution-dun-referentiel-hydrographique-lechelle-du-sage-pour-la-preservation>

24. <https://uicn.fr/wp-content/uploads/2018/06/brochure-SfN-mai2018-web-ok.pdf>

25. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/protection-des-milieux-humides#e3>

Premier ministre par Mme Frédérique Tuffnell, députée de la Charente-Maritime et M. Jérôme Bignon, sénateur de la Somme, qui réitère le cri d'alarme lancé en 1994 par M. Paul Bernard, préfet de la région Rhône-Alpes dans le rapport à l'origine du premier Plan national.

En effet ces milieux rendent notamment des services immenses en ces temps de changement climatique :

- ils atténuent les effets du changement climatique sur le cycle de l'eau et constituent un rempart face aux submersions marines, une protection contre les inondations, des réserves hydriques naturelles en période de sécheresse avec un rôle de soutien d'étiage ;
- ils constituent l'un des types d'habitat les plus riches en termes de biodiversité, biodiversité menacée aussi par les effets du changement climatique : ils soutiennent ainsi près de 40 % des vertébrés, et près de 50 % des oiseaux, 40 % des poissons, et bien sûr 100 % des amphibiens, enfin 30 % des espèces végétales remarquables et menacées ;
- ils participent aussi, comme les espaces verts et les arbres, à rendre la ville plus résiliente au changement climatique, par un net effet rafraîchissant allié à la qualité du cadre de vie.

Le troisième Plan national a ainsi prévu notamment de renforcer la prise en compte des milieux humides, de leurs fonctions et des services qu'ils rendent dans l'aménagement urbain (organisation d'un deuxième Grand prix « Milieux humides et urbanisme »), dans les plans locaux d'urbanisme, dans le référentiel ÉcoQuartiers, ainsi que dans les PAPI, et dans la gestion des risques littoraux.

Le quatrième Plan national, en cours d'élaboration, s'appuiera sur les préconisations du rapport parlementaire et prévoira ainsi d'essayer d'infléchir plus radicalement le manque d'attention porté à ces milieux en poursuivant et renforçant les efforts de sensibilisation, de préservation, et de restauration des milieux humides comme des milieux répondant en tant que Sfn à de nombreuses et urgentes nécessités liées au changement climatique, et en recherchant notamment l'implication de tous les territoires et acteurs de l'aménagement.

Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte (réduction des impacts de la submersion marine et de l'érosion)

Aujourd'hui près d'un quart du littoral recule sous l'effet de l'érosion côtière. Conjugués à ce phénomène naturel de mobilité du trait de côte, les effets du changement climatique, la forte démographie de la frange littorale et son important dynamisme économique conduisent aujourd'hui à repenser l'organisation territoriale des zones côtières.

C'est dans cet objectif que l'État a adopté en 2012 une Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, avec la volonté d'accompagner les territoires dans

leur adaptation, en développant les outils nécessaires, en renforçant la connaissance et en facilitant l'information et la mobilisation de tous.

Son programme d'actions 2017-2019 recommande notamment « l'expérimentation et l'innovation, en privilégiant des méthodes et des techniques de gestion souple » avec pour principe commun « d'éviter la défense systématique contre la mer et de développer des systèmes d'adaptation raisonnés pour la protection et la recomposition spatiale du littoral en évitant l'artificialisation du trait de côte ».

Une démarche participative intitulée « Dynamique(s) Littoral », réunissant des acteurs de tous horizons et déployée en 2018 par le ministère de la Transition écologique et solidaire, a également fait ressortir l'ambition de préserver et de promouvoir les écosystèmes naturels comme bien « protecteur » des territoires littoraux et créateur de valeur.

De par les services qu'ils rendent, les écosystèmes naturels à l'interface terre-mer en bon état constituent en effet de véritables atouts pour adapter les territoires littoraux aux évolutions du trait de côte et renforcer leur résilience : capacité de fluctuation et d'évolution face aux changements, barrières naturelles de protection des biens et des activités installés le long des côtes, éponges en cas d'inondations, réservoirs hydriques lors de période de sécheresse, auto-épuration des eaux polluées, maintien d'une biodiversité riche, production de ressources permettant le développement d'activités économiques respectueuses de l'environnement, etc.

À cette fin, le lancement de l'appel à projets « Des Solutions fondées sur la Nature pour des territoires littoraux résilients » sur trois ans pour promouvoir des SfN dans l'adaptation des territoires littoraux, en complément de solutions plus classiques de type génie civil, a été lancé par le ministère de la Transition écologique et solidaire le 4 juillet 2019, un an après l'adoption du plan biodiversité. Cet appel à projet a pour objectif de « promouvoir le rôle des écosystèmes dans l'adaptation au changement climatique des territoires exposés aux évolutions du trait de côte »²⁶. Avec un budget de 1 million d'euros cet appel à projet vise les acteurs publics tels que les collectivités territoriales, les établissements publics et les services de l'État aussi bien que les acteurs privés tels que les associations, les acteurs socio-économiques et les propriétaires de sites par exemple, en France métropolitaine et outre-mer.

Les résultats des projets réalisés dans ce cadre seront valorisés dans le plan biodiversité et le plan national d'adaptation au changement climatique 2018-2022.

Cet appel à projets vient en complément de différentes démarches en cours au niveau national et dans les territoires. À titre d'exemple, le projet LIFE « Adapto » porté par le Conservatoire du littoral explore des solutions face aux effets du changement climatique sur le littoral en préconisant une gestion souple du trait de côte. Des démarches expérimentales sont conduites sur dix sites pilotes en appliquant

26. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/appele-projets-des-solutions-fondees-sur-nature-des-territoires-littoraux-resilients>

sur chaque territoire une grille de lecture et d'analyse du contexte (gestion des risques, paysage, économie, perception...) puis la mise en œuvre d'outils (modélisation 3D, analyse paysagère...).

Encadré 3

Les Solutions fondées sur la Nature pour l'adaptation au changement climatique dans les actions des agences de l'eau

Depuis quelques années les agences de l'eau se dotent d'actions d'adaptation au changement climatique, à travers par exemple l'adoption du « Plan de bassin d'adaptation au changement climatique dans le domaine de l'eau » du bassin Rhône-Méditerranée en 2014 ou de la « Stratégie d'adaptation au changement climatique du bassin Seine-Normandie » en 2016. Si certaines agences de l'eau avaient déjà intégré des actions en faveur de l'adaptation au changement climatique dans leurs programmes d'intervention précédents, désormais l'adaptation fait partie des objectifs prioritaires des 11^e programmes d'intervention des six agences de l'eau métropolitaines, adoptés entre septembre et octobre 2018 pour la période 2019-2024. Parmi les actions d'adaptation encouragées dans ce cadre, certaines s'appuient notamment sur des Solutions fondées sur la Nature telle que la restauration des milieux aquatiques.

Études de cas

La restauration des mangroves par la régénération naturelle face à l'érosion et à la submersion : l'exemple du Costa Rica et du Bénin

Janique Etienne,

Fonds français pour l'environnement
mondial (FFEM)

À l'instar des récifs coralliens, les mangroves forment des barrières naturelles qui protègent les côtes de l'érosion et des tempêtes tropicales. Les communautés ont en général une très bonne appréciation de ce rôle, comme aux Philippines où les villageois ont pu observer la différence d'exposition aux cyclones et typhons entre les lieux où la mangrove était encore présente et les zones où elle avait été convertie en bassins aquacoles²⁷. L'atténuation des vagues est produite par la résistance engendrée par les interactions entre les vagues et les structures des palétuviers²⁸ (feuilles, troncs, racines, substrat).

Réparties sur plus de 150 000 km², les mangroves occupent 75% du domaine côtier tropical. Ces forêts hyperspécialisées se développent sur des sols pauvres en oxygène et riches en sel grâce à des systèmes d'adaptation uniques tels que leurs racines qui filtrent le sel ou leurs feuilles qui l'éliminent²⁹. Le niveau de tolérance au sel de chaque espèce de palétuvier détermine leur implantation. Dans de bonnes conditions environnementales, leur capacité de développement est exceptionnelle : la future plantule et son appareil racinaire se développent directement sur l'arbre, la propagule libérée s'enracine facilement à marée basse ou est transportée par les courants. Leurs branches latérales émettent des racines aériennes qui s'enracinent un peu plus loin, donnant l'impression que l'arbre se déplace.

Lorsqu'elle est présente aux embouchures des estuaires et des fleuves drainant de vastes bassins-versants, la mangrove contribue à stabiliser le trait de côte en retenant les sédiments transportés par les eaux douces continentales. La mangrove est donc un élément essentiel de la résilience des populations et des écosystèmes côtiers face à l'amplification de l'érosion liée au changement climatique.

La résistance engendrée par la mangrove à la circulation des masses d'eau est dépendante de sa composition et de son architecture. Les processus en action ont été étudiés à Mayotte où il a pu être démontré que la diminution de la largeur de la mangrove entraîne une baisse sensible de la capacité de cette dernière à atténuer l'énergie des vagues. Cette atténuation atteint 90% à comparer à 35%

27. Walters B.B., (2004).

28. Les palétuviers sont des arbres ou arbustes qui constituent la mangrove.

29. Fromard F. *et al.*, (2018).



Figure D5 – Racines aériennes de l'espèce *Rhizophora* (Costa Rica).

© Alexis Rosenfeld.

dans les secteurs dénués de mangrove, dans ce cas l'atténuation n'est engendrée que par la friction du fond sédimentaire et la pente du profil de plage³⁰. D'autres travaux suggèrent que la taille et l'énergie des vagues générées par le vent peuvent être réduites de 75 % à travers 200 mètres de mangrove – bien que d'autres facteurs comme la profondeur de l'eau ou le profil de la côte aient une influence – ou qu'un kilomètre et demi de mangrove peuvent réduire entièrement une vague d'un mètre³¹.

Cet effet « tampon » est à mettre en balance avec leur vulnérabilité aux pressions anthropiques : les mangroves sont aujourd'hui menacées notamment par l'artificialisation des sols, leur conversion pour l'aquaculture et leur exploitation pour du bois de chauffe ou d'autres usages. Il a ainsi été constaté un recul de 20 % des surfaces de mangrove entre 1980 et 2005.

De nombreux programmes de préservation et restauration ont été réalisés avec des résultats parfois très mitigés. Principalement deux approches de restauration écologique sont mises en œuvre (parfois conjointement) : la plantation de palétuviers et la restauration des conditions nécessaires à une colonisation naturelle. Cette dernière approche est aujourd'hui préconisée par la plupart des experts et chercheurs.

30. Jeanson M. et al., (2018).

31. UNEP-WCMC, (2006).

Au Costa Rica et au Bénin, un programme original de restauration écologique « intégrale » a démarré début 2018 avec l'appui financier du Fonds français pour l'environnement mondial (FFEM)³² : il est mis en œuvre sur trois sites pilotes totalisant 31 hectares de mangrove au Costa Rica et la même surface sur un site pilote à la frontière du Togo et du Bénin (commune de Ouidah). Le programme repose sur une méthodologie déjà éprouvée au Mexique, avec l'appui du laboratoire EPOMEX³³ de l'université de Campeche, basée sur une bonne gestion des dynamiques hydrologiques et une connaissance précise du fonctionnement des écosystèmes concernés par la restauration.

À l'origine du projet, un constat : l'augmentation sensible des pertes de surface de mangroves dans les deux pays. 35 % de pertes ont ainsi été observées au Costa Rica entre 1980 et 2005³⁴ et 25 % des superficies de mangrove ont disparu au Bénin entre 1980 et 2006.

Dans les villages lacustres de la commune de Ouidah au Bénin, la production du sel constitue la principale source de revenu des habitants : assurée par les femmes à partir de l'extraction de sédiments de mangrove, elle nécessite également une forte utilisation de bois de mangroves. De nombreuses zones à proximité de ces villages ont ainsi été totalement déboisées. La zone humide transfrontalière du delta du fleuve Mono, dont ces mangroves font parties, concentre une faune exceptionnelle d'importance suprarégionale composée d'espèces variées : hippopotames, singes à ventre rouge, buffles d'Afrique, lamantins, crocodiles et autres reptiles ainsi que des oiseaux migrateurs, etc.

Au Costa Rica, les pressions sur les écosystèmes de mangroves sont multiples : plantations (palmier à huile, teck, etc.), élevage, création de bassins pour l'aquaculture, production de sel, érosion importante des bassins-versants dont l'une des conséquences est une sédimentation élevée, modifiant les conditions du milieu et entraînant la mort des palétuviers en front de mer.

Des espèces envahissantes colonisent des plaines entières au détriment des mangroves lorsque celles-ci sont dégradées du fait d'activités humaines. Elles modifient la topographie des lieux et le niveau de submersion des palétuviers en retenant les sédiments via leur système racinaire.

La méthode mise en œuvre privilégie la restauration des conditions d'une régénération naturelle de la mangrove³⁵ notamment par le rétablissement de conditions hydrologiques favorables à une colonisation par les propagules permettant leur dispersion et implantation.

32. <https://initiative-mangroves-ffem.com/accueil/>

33. Institut d'écologie, de pêche et d'océanographie du golfe du Mexique.

34. FAO, (2005).

35. Différents types de mangroves sont concernés : la *Rhizophora* dont l'espèce la plus notable est la *Rhizophora Mangle* dite la mangrove rouge ; la *Laguncularia Racemoza* dite mangrove blanche ; et la *Avicennia* dite palétuvier noir.



Figure D6 – Ancienne mangrove en front de mer (Costa Rica).

© Alexis Rosenfeld.



Figure D7 – Mangrove envahie par la *Negra Fora* à Térraba Sierpe (Costa Rica).

© Alexis Rosenfeld.

Ce type de restauration nécessite une bonne connaissance de paramètres physico-chimiques tels que la salinité, la température, la concentration en nutriments et le niveau d'oxygénation des sédiments et de l'eau interstitielle³⁶, dans les zones à restaurer et les zones de référence (qui représentent l'objectif à atteindre en termes de restauration et reforestation). La topographie va influencer directement le niveau de submersion et ainsi la salinité de l'eau : sur le terrain, le microrelief est donc également examiné. Ces paramètres déterminent la répartition des différentes espèces de palétuviers, plus ou moins tolérantes à la salinité notamment.

La première étape consiste à récolter les données de base disponibles sur les processus et caractéristiques des écosystèmes de mangrove dégradés. Les paramètres physico-chimiques de l'eau interstitielle sont obtenus par l'installation de piézomètres. Sur chaque site, des échantillons de sols sont prélevés et analysés. L'analyse des sols permet d'alimenter le modèle hydrologique général de chaque zone.

L'analyse de l'ensemble de ces données et la comparaison entre les zones dégradées à restaurer et les zones de référence permettent de définir un plan de restauration de chaque site. La stratégie de restauration est ensuite basée sur la réhabilitation de l'hydrologie des sites en construisant des canaux artificiels. Le tracé des canaux et des zones d'excavation des terres est établi par l'Institut EPOMEX en appliquant un modèle numérique prenant en compte les données collectées.



Figure D8 – Prise de mesures sur l'un des sites pilote à restaurer (Costa Rica).

© Alexis Rosenfeld.

36. L'eau interstitielle correspond à l'eau présente entre les sédiments.

Une fois la restauration hydraulique des sites effectuée, la régénération de la mangrove peut se faire naturellement.

Au-delà de l'efficacité du dispositif de restauration, le projet soutient le développement de pépinières communautaires et la replantation : l'implication des populations dans la gestion de ces espaces est essentielle et conditionne la bonne santé des écosystèmes dans la durée.

Ainsi, dans un contexte où le changement climatique vient amplifier les phénomènes d'érosion côtière et de submersion marine, la restauration des mangroves par la régénération naturelle constitue une Solution d'adaptation fondée sur la Nature. Et les expériences de restauration menées au Costa Rica et au Bénin peuvent être source d'inspiration pour les territoires ultramarins français soumis aux mêmes aléas.

Des zones de rejet végétalisées pour protéger la ressource en eau dans un contexte de changement climatique

Thierry Polard,
Suez

La conjugaison de l'émission de substances polluantes par les activités humaines et du changement climatique génère des situations préoccupantes pour la ressource en eau.

La création de zones de rejet végétalisées (ZRV) améliorées, telles que les zones Libellule (zone de « Liberté biologique et de lutte contre les polluants émergents ») par exemple, peut contribuer à une meilleure résilience du milieu naturel, en s'appuyant sur les écosystèmes et en offrant des bénéfices pour la biodiversité.

● *La vulnérabilité de la qualité de la ressource en eau face au changement climatique*

Les activités humaines génèrent une grande diversité de micropolluants (résidus pharmaceutiques ou de cosmétiques, phytosanitaires, éléments traces métalliques, etc.) qui sont transférés vers les milieux aquatiques *via* les eaux usées (domestiques, industrielles, hospitalières). Les stations de traitement des eaux usées interceptent ces effluents et abattent une partie des flux de ces micropolluants. Toutefois, ces composés particuliers ne sont pas ceux ciblés par les processus usuels de traitement, et une part du flux parvient jusque dans les milieux récepteurs.

Le changement climatique augmente la sensibilité de ceux-ci vis-à-vis des polluants :

- directement, la réduction quantitative de la ressource induit une augmentation de la concentration dans le milieu pour des flux équivalents ;
- indirectement, la diminution de dioxygène dans les eaux et l'augmentation de la température de l'eau accroissent leur impact chez les organismes.

● *Le concept de zones de rejet végétalisées améliorées*

Inspirées par les zones humides naturelles, les zones de rejet végétalisées (ZRV) mobilisent les services écosystémiques (régulation qualitative et quantitative) rendus par celles-ci. Toutefois, leur efficacité est discutée : sans règles précises de conception et avec une exploitation souvent sous-estimée, les bénéfices attendus des ZRV classiques peuvent ne pas être atteints ou maintenus. Soutenus par plusieurs années de recherche et développement en génie écologique, les ZRV améliorées permettent un traitement tertiaire avancé des effluents. Elles garantissent un abattement pour des micropolluants ciblés. Aussi, dans un contexte de changement climatique, les ZRV améliorées garantissent la protection du milieu récepteur en réduisant la pollution résiduelle et en lissant les pics de débits sortant. Elles se composent de différents compartiments, tels que les bassins, les roselières ou les méandres qui se succèdent et permettent chacun un traitement spécifique.

● *Une solution qui repose sur les écosystèmes des zones humides*

L'efficacité des ZRV améliorées repose intégralement sur des processus naturels, à la différence des technologies industrielles (ozonation, traitement par charbon actif, osmose inverse). Elle fait intervenir des processus de dégradation biologique (par activité bactérienne) ou physique (photolyse) et de séquestration (absorption sur le substrat et les matières en suspension, absorption par les plantes).

La conception de tels dispositifs fait appel aux principes du génie écologique. En effet, autour du principe de base visant à maximiser le temps de séjour (ces processus extensifs nécessitent pour être efficace une emprise au sol significative, environ 2,5 m² par équivalent-habitant), il convient d'optimiser le design pour répondre aux objectifs définis en amont, qu'ils soient épuratoires, de régulation hydraulique, et/ou d'accueil de la biodiversité. L'expertise porte sur la configuration des différents compartiments, le plan de plantation, le suivi phytosociologique, la traçabilité en sélectionnant des espèces végétales indigènes. Les ZRV améliorées s'intègrent dans la norme française NF X 10-900 propre à la conduite de projets de génie écologique des zones humides et cours d'eau. En exploitation, la gestion de ces zones est respectueuse du cycle de vie des espèces et vise à maintenir une diversité d'habitats naturels.

● *Les bénéfices écologiques, hydrauliques et territoriaux*

Au-delà de la fonction épuratoire, les ZRV améliorées peuvent devenir un espace de biodiversité et de continuité écologique. Chaque compartiment, avec sa configuration topographique et hydraulique, est le support d'une biodiversité à part entière. Les ZRV améliorées, par leur rôle tampon vis-à-vis du milieu récepteur, présentent un intérêt particulier dans des situations écologiques sensibles (Natura 2000 par exemple) et en contexte méditerranéen, marqué par des assecs estivaux accentués par le changement climatique. Conjointement à ce bénéfice écologique, elles sont généralement considérées comme un espace de sensibilisation et de valorisation paysagère.



Figure D9 – Zone Libellule de Saint-Just (34).

© Suez.

Des travaux de génie écologique pour adapter les infrastructures et les territoires aux impacts du changement climatique

Lorène Dumeaux,
Vinci

● *L'enjeu du changement climatique pour les activités de Vinci*

Vinci est un acteur mondial des métiers des concessions et de la construction. Les activités du groupe sont inscrites dans le long terme avec pour mission de concevoir, financer, construire et gérer des infrastructures et des équipements qui contribuent à améliorer la vie quotidienne et la mobilité de chacun.

Le changement climatique est l'un des plus importants facteurs de transformation des activités d'un groupe comme Vinci. Concepteur, constructeur mais également concessionnaire et exploitant d'infrastructures situées dans le monde entier, ses activités sont confrontées aux conséquences de changements globaux à court, moyen et long termes. Elles se manifestent désormais par une amplification de l'intensité et du nombre de phénomènes climatiques extrêmes et par des phénomènes à évolution lente qui impriment une marque durable sur les territoires (montée du niveau de la mer, évolution du trait de côte, orientation du

vent, phénomène d'îlots de chaleur urbains...). Les efforts des entités de Vinci pour limiter leurs impacts et émissions, qui contribuent à ce changement climatique, s'inscrivent dans les cadres désormais bien définis de chacune des activités. Cependant, la réponse aux conséquences du changement climatique est encore incomplète, en raison notamment du nombre important de scénarios auxquels les activités du groupe pourraient être confrontées.

Quelle stratégie de résilience adopter afin de garantir la pérennité et la qualité de service des infrastructures que Vinci conçoit, construit et exploite ? Les actions menées en matière de préservation de l'environnement contribueraient-elles à améliorer cette stratégie ? De l'adaptation au renoncement, la liste des réponses est presque aussi diversifiée que les projets auxquels elles s'appliquent.

● *Les Solutions fondées sur la Nature : une nouvelle activité des entreprises de Vinci au service de la résilience des territoires*

Certaines sociétés du groupe, dont l'activité a un impact fort sur les milieux naturels et s'opère sur des cycles longs, mènent depuis longtemps des actions de préservation de l'environnement et de lutte contre le changement climatique, dont elles mesurent l'évolution sur leurs activités. Elles ont mené de nombreuses expérimentations et actions d'envergure afin de modifier totalement leurs pratiques. Pour les sociétés concessionnaires d'infrastructures linéaires, l'enjeu biodiversité repose principalement sur la limitation de la fragmentation des habitats naturels lors des opérations d'aménagement des réseaux. Les efforts visent, autant que possible, à rendre les infrastructures le moins visibles possibles dans le paysage, à assurer la réversibilité des obstacles et à restaurer des continuités écologiques (installation d'écoponts, aménagement d'ouvrages hydrauliques, restauration et mise en valeur de sites d'intérêt écologique, réaménagement des talus, fauchage raisonné, voir figure D10). Pour les sociétés gestionnaires de sites d'exploitation (carrières, plateformes aéroportuaires), les efforts visent à éloigner les espèces faunistiques des espaces d'activités et aménager des espaces plus accueillants sur le reste du site.



Figure D10 – Aménagement d'un passage grande faune au-dessus de l'autoroute A19.

© Vinci, 2015.

Pour mettre en œuvre ces actions, des travaux de génie écologique ont été menés sur les différents projets du groupe et ont permis d'expérimenter et d'éprouver des méthodes de travaux reconnues par les différents clients, experts naturalistes et services de l'État. Le nombre de chantiers de génie écologique a été démultiplié ces cinq dernières années en France mais également à l'étranger. Les équipes de travaux ont été formées et les entités ont gagné une réelle expertise dans ce type de travaux. Les entreprises du groupe spécialisées en génie écologique mènent des opérations de restauration écologique de milieux impactés par des travaux d'aménagement : plantation d'espèces locales, lutte contre les espèces exotiques envahissantes, restauration de zones humides et de cours d'eau aux fonctionnalités écologiques dégradées (voir figure D11)... Ces actions sont mises en place grâce aux partenaires locaux d'aménagement (collectivités, directions des territoires, syndicats de rivières, etc.) et aux partenaires naturalistes (associations, conservatoires d'espaces naturels, centres permanents de la propriété forestière...).

Tout en renforçant les fonctionnalités des écosystèmes naturels, ces travaux contribuent à la réduction de risques naturels qui sont amenés à s'amplifier avec le changement climatique. Par exemple, la restauration de zones humides permet,



Figure D11 – Travaux de restauration écologique menés sur le Ru de Gally dans les Yvelines par Equo Vivo.

© Equo Vivo, Vinci Construction.

en partie, de lutter contre les inondations. En effet, ces zones jouent le rôle de tampons et de réserves en cas de fortes précipitations. Elles facilitent le stockage et l'infiltration des eaux et évitent qu'elles ne se dirigent vers des zones habitées et plus artificialisées.

Si les travaux de génie écologique répondent à un besoin des territoires face au changement climatique, ils peuvent également répondre aux besoins des infrastructures exploitées par les sociétés du groupe (voir figure D12). Ainsi, le réseau de 4 443 km de Vinci Autoroutes est en cours de réalisation d'audits approfondis pour tester sa résilience aux événements climatiques extrêmes dus au changement climatique (inondations, feux, tempêtes, épisodes de froid...), qui sont amenés à changer son mode d'exploitation. De cet audit découlera un plan d'actions visant à mener des opérations de maintenance adaptées (curage des buses hydrauliques, entretien forestier, entretien des chemins d'accès, etc.). Certaines opérations de génie écologique seront également engagées (aménagement écologique de cours d'eau attenants à l'infrastructure, création de bassins d'assainissement supplémentaires pour stocker l'eau de pluie, plantation d'espèces végétales adaptées aux périodes de sécheresse, etc.).

Les SfN permettent de répondre, en partie, aux enjeux que pose l'adaptation au phénomène de changement climatique.



Figure D12 – Travaux d'aménagement de cours d'eau autour de l'autoroute A63.

© Aline Boros, 2016.

● *La végétalisation du bâti face au phénomène d'îlot de chaleur urbain : une Solution d'adaptation fondée sur la Nature*

Vinci travaille depuis de longues années sur les questions de biodiversité urbaine et des services écosystémiques rendus par les espèces faunistiques et floristiques, qui permettent d'améliorer les capacités de résilience des villes. Les travaux des étudiants d'AgroParisTech, menés dans le cadre du mécénat scientifique de la chaire « Écoconception des ensembles bâtis et des infrastructures », ont permis de développer plusieurs outils et solutions dont la vocation est de préserver la biodiversité en zone urbaine, tout en étudiant les services rendus par ces espèces.

Biodi(V) strict® est un outil de diagnostic et d'aide à la décision qui permet de mesurer le potentiel biodiversité d'un projet d'aménagement en contexte urbain et périurbain. Issu d'un travail collaboratif entre des professionnels de l'aménagement et des scientifiques, il a été créé grâce à un partenariat entre Vinci, Vinci Construction France et AgroParisTech. Une étude Biodi(V) strict® sur un projet de construction ou de rénovation permet de développer des axes d'amélioration et de proposer des solutions plus favorables à la faune et à la flore locales. Biodi(V) strict® a été utilisé sur plus de soixante projets de Vinci Construction France depuis 2014 et a été testé dans le cadre de la mise en place de HQE® Performance (logements, bureaux, commerces, écoles, collèges, campus universitaires). Il s'applique à des opérations en partenariat public-privé, en montage-développement immobilier ou en conception-réalisation et a pour ambition d'être déployé à différentes étapes des projets (programmation, conception, réponse à un appel d'offres, etc.). Créée en 2017, Urbalia accompagne les acteurs de l'immobilier pour créer des espaces favorables au renforcement de la biodiversité et à l'intégration de l'agriculture locale. Ces espaces sont plus résilients au changement climatique et peuvent contribuer eux-mêmes à la réduction de certains impacts du changement climatique tels que : le rafraîchissement urbain dans des zones végétalisées et arborées en ville lors d'épisodes de fortes chaleurs, en raison du phénomène d'évapotranspiration des arbres et arbustes et une gestion des eaux pluviales plus adaptée, notamment lors des épisodes de fortes précipitations, absorbées par les parcelles végétalisées.

En conclusion, les actions menées en matière de préservation de la biodiversité contribuent fortement à améliorer à la fois la stratégie d'adaptation au changement climatique du groupe dans la manière de mener ses activités et la résilience des infrastructures dont il a la charge face aux impacts du changement climatique. Elle est adoptée pour garantir la pérennité et la qualité de service des infrastructures exploitées et permet le développement de nouvelles compétences au sein du groupe.

Végétal local : la diversité génétique comme Solution fondée sur la Nature pour l'adaptation des écosystèmes face aux impacts du changement climatique

Sandra Malaval,

Conservatoire botanique national des Pyrénées
et de Midi-Pyrénées/Agence française pour la biodiversité

Marianne Hédont,

Plante & Cité

Baptiste Sanson,

Afac-Agroforesteries



Figure D13 – Abeille sauvage sur bleuet.

© CBNPMP/F. Denarié.

● *Une demande croissante en végétaux indigènes*

Le développement des politiques publiques en faveur de la biodiversité, des continuités écologiques et de la compensation écologique a contribué à l'essor des techniques et opérations de génie écologique. Les préconisations d'aménagement ou de restauration des milieux évoluent vers une meilleure prise en compte de la

fonctionnalité des milieux, s'appuyant notamment sur un besoin d'utilisation de végétaux indigènes (présents naturellement dans cette zone géographique) et collectés localement. En effet, si la plante considérée est issue d'une collecte sur un site très éloigné (autre continent par exemple) du site d'implantation, elle présentera alors des caractéristiques génétiques (génotype) non adaptées aux conditions environnementales locales, ce qui pourra avoir des incidences sur la réussite du semis ou le maintien des plantes à moyen et long termes. La précision sur le site d'origine du végétal est donc cruciale lors de l'utilisation de végétaux sauvages.



Figure D14 – Récolte de fusain (*Euonymus europaeus*) en milieu naturel pour les filières Végétal local.

© CBNPMP/S. Malaval.

● *Un manque de traçabilité de la gamme*

L'objectif particulier de chaque projet va conduire le maître d'ouvrage à choisir sa gamme de végétaux et les espèces à implanter, ainsi que leur provenance. Dans le cas des espèces sauvages (nous entendons par là non issues de sélection agricole ou horticole, mais issues de collecte en milieu naturel), la réglementation française n'impose pas de traçabilité depuis le site de prélèvement en milieu naturel jusqu'à la commercialisation. Ainsi, les plantes sauvages commercialisées étaient jusqu'alors dépourvues de garanties sur leur origine géographique.

La construction d'une offre en végétaux sauvages issus de collecte locale doit pouvoir garantir la traçabilité des végétaux depuis le site de collecte : c'est dans ce contexte que s'est construite la démarche collective autour de Végétal local.

● *Le projet autour des filières d'espèces indigènes locales*

Végétal local est une marque collective simple appartenant à l'Agence française pour la biodiversité (AFB). Elle est issue d'un appel à projets du ministère en charge de l'écologie lancé en 2011 dans le cadre de la Stratégie nationale pour la biodiversité (SNB) et intitulé « Conservation et utilisation durable d'espèces végétales indigènes pour développer des filières locales ». Cet appel à projets a permis d'initier un travail collectif avec plus de 150 scientifiques et représentants des producteurs et utilisateurs de végétaux. Deux années ont été nécessaires pour définir les objectifs, les outils et le cadre pour la collecte, la production et la traçabilité des végétaux. L'objectif de départ a été de permettre une garantie de la traçabilité de ces végétaux et une conservation de leur diversité génétique afin d'avoir sur le marché des gammes adaptées pour la restauration des écosystèmes et des fonctionnalités écologiques.

La marque Végétal local repose sur un règlement d'usage et un référentiel technique validés collectivement. Depuis sa création en 2015, l'animation de la marque est assurée par trois structures représentatives des réseaux institutionnels et professionnels concernés : les conservatoires botaniques nationaux, l'Afac-Agroforesteries et Plante & Cité.

Pourquoi utiliser des plantes sauvages issues de collectes locales ?

Viser la restauration des écosystèmes

Les végétaux sauvages issus de collecte en milieu naturel, dans un territoire biogéographique considéré, sont porteurs d'une diversité génétique spécifique, issue de plusieurs siècles d'évolution en lien avec le milieu environnant.

Le fonctionnement d'un écosystème, quant à lui, est basé sur les espèces végétales et animales qui le composent et sur leurs interactions, dans l'espace et dans le temps. Pour une même espèce ce sont les individus avec les génotypes les plus favorables aux conditions de vie locale qui seront naturellement favorisés



Figure D15 : plantation d'arbres et d'arbustes Végétal local près d'Orléans.

© Afac-Agroforesteries 2018.

et sélectionnés. Certaines caractéristiques génétiques (les adaptations génétiques locales) vont se traduire en caractères physiques et biologiques qui vont eux-mêmes influencer les interactions entre espèces (par exemple concordance entre date de floraison et cycle biologique des pollinisateurs). Pour conserver ces caractéristiques génétiques adaptées aux conditions locales (sol, climat, composition floristique...) il est nécessaire d'éviter les apports de gènes issus de génotypes d'une même espèce ayant évolué sous d'autres conditions. C'est pourquoi, lors d'un chantier d'aménagement, l'usage de génotypes issus de la région biogéographique considérée (homogénéité globale de climat, sol et flore) permet de conserver le patrimoine génétique des populations végétales locales.

Utiliser des végétaux sauvages issus de collectes locales participe au maintien des fonctions écologiques du milieu d'implantation (berges, pistes de ski, talus routiers, haies champêtres, prairies...). La conservation de la diversité floristique et faunistique est permise, tout en favorisant les interactions plante-insecte. Globalement, la flore locale implantée participe à la fonctionnalité de la trame verte et optimise l'opérationnalité des services écosystémiques rendus (stabilisation des sols, qualité des eaux, séquestration du carbone, production de matière...).



Figure D16 – Pied-d'alouette (*Consolida hispanica*) et abeille charpentière (*Xylocopa violacea*).

© CBNPMP/G. Couëron.

Faciliter l'adaptation au changement climatique

Le changement climatique tend à fragiliser le fonctionnement des écosystèmes. La réponse des espèces pour s'adapter à ce changement peut être complexe et dépendra de la gamme de tolérance de chacune, cette gamme de tolérance étant notamment liée à sa diversité génétique. Au niveau de la population d'une espèce, si les conditions défavorables perdurent, les individus avec les génotypes les plus favorables seront sélectionnés. Sur des temps plus longs, variables selon la durée de génération, des mutations pourront apparaître et être sélectionnées. La variabilité génétique, individuelle et au sein des populations est donc un facteur essentiel d'adaptabilité sur le long terme³⁷. Il existe par exemple une plus-value de la diversité génotypique sur la réponse au stress hydrique et sur la stabilité de la production de peuplements prairiaux plurispécifiques³⁸. La diversité génétique constitue en ce sens un moyen de s'assurer que certains individus seront résilients face aux impacts du changement climatique. La variabilité des individus au sein d'une population de plantes est donc un facteur d'adaptation sur les moyen et long termes. Cette variabilité est souvent faible chez les espèces sélectionnées présentes sur le marché, la sélection intervenant en ciblant la conservation de certains caractères uniquement et générant une homogénéisation du patrimoine génétique. Dans la démarche Végétal local, le cahier des charges technique de collecte, production et suivi des lots a pour principe de conserver au maximum la diversité génétique des lots de graines collectés dans le milieu naturel, par des seuils d'échantillonnage élevés et des méthodes de production limitant la sélection. La marque permet la présence d'une importante diversité génétique dans les lots mis sur le marché (plants et semences). Il s'agit d'une démarche de conservation dynamique de la biodiversité, en tant que support d'une meilleure adaptabilité des végétaux implantés, à court, moyen et long termes.

Si l'on ne peut plus douter que des changements environnementaux importants sont bien à l'œuvre aujourd'hui, les détails des nouveaux types de climat à venir sont encore incertains. Face à ces incertitudes, l'utilisation de végétaux locaux présentant une importante diversité génétique constitue un principe de précaution quant aux chances d'adaptation des végétaux.

Comment fonctionne la marque Végétal local ?

Végétal local est une marque collective animée au niveau national et dans les régions. Ce collectif d'animation accompagne la construction des filières, qui vont des collecteurs en milieu naturel jusqu'aux distributeurs.

Figure D17 – Logo de la marque Végétal local.

Source : la marque Végétal local est une marque collective simple déposée à l'INPI, propriété de l'Agence française pour la biodiversité.



37. Académie des sciences, (2017).

38. Litrico *et al.*, (2015).

Une collecte visant la conservation du patrimoine génétique local

Afin de conserver les caractéristiques génétiques adaptées aux conditions locales (les « adaptations locales »), le groupe de travail ayant élaboré la marque a défini la notion de « local » sous forme d'une carte des régions biogéographiques. Onze régions ont été définies pour la France métropolitaine, et chaque territoire, île ou îlot d'outre-mer constitue une région supplémentaire. Ces régions ont été définies sur des critères écologiques, hydrologiques, climatiques, géologiques, de végétation... en s'inspirant notamment des méthodes ayant fait leurs preuves en Allemagne et Suisse. Chaque région définit une aire géographique assez homogène d'un point de vue écologique : tout végétal collecté dans cette région gardera la traçabilité de cette origine jusqu'à sa commercialisation et son utilisation préconisée dans la même région. Ces régions ont également été définies pour avoir une taille suffisante d'un point de vue économique pour les filières de production et commercialisation (nombre de zones cohérent avec la création des marchés, nombre de sites de collecte compatible avec une gestion de la traçabilité...).

Les seuils d'échantillonnage lors des collectes invitent à collecter sur des populations de plantes assez développées, à la fois pour garantir une conservation de la ressource *in situ* (et ne pas mettre en péril les populations de plantes dans la nature) et permettre un bon niveau de diversité génétique dans les lots collectés. Ensuite, la sélection est évitée : les plantes, arbres et arbustes présentant des différences de port³⁹ ou de taille ne sont pas éliminés, même à croissance lente et rapide, à fructification précoce ou tardive...

Des outils de traçabilité sont mis à disposition des bénéficiaires de la marque pour assurer que l'information sur les lots collectés soit conservée tout au long du processus jusqu'à la commercialisation (fiches de collecte, de production...). Ils font l'objet d'un contrôle régulier par des auditeurs externes, venant vérifier l'adéquation des pratiques des bénéficiaires avec le référentiel technique de la marque.

Une liste d'espèces à valider pour chaque région d'origine

C'est le matériel végétal (graine, mélange, bouture, plant...) qui reçoit la marque, pour une région d'origine donnée. Les bénéficiaires de la marque (semenciers, pépiniéristes, collecteurs, etc.) obtiennent le droit d'exploiter la marque pour une durée de six ans sur une liste d'espèces par région d'origine. Ils peuvent compléter cette liste tout au long de la durée d'exploitation de la marque. Ce droit d'utilisation est attribué par l'Agence française pour la biodiversité, avec l'avis d'un Comité de gestion des marques qui se réunit deux fois par an.

Les espèces exclues de la marque sont les espèces protégées, rares ou menacées et les espèces non indigènes (l'indigénat est évalué pour chaque région d'origine). Les raretés et menaces sont évaluées sur les critères de l'UICN et *via* le réseau des conservatoires botaniques nationaux.

39. Le port correspond à la manière dont pousse le végétal.

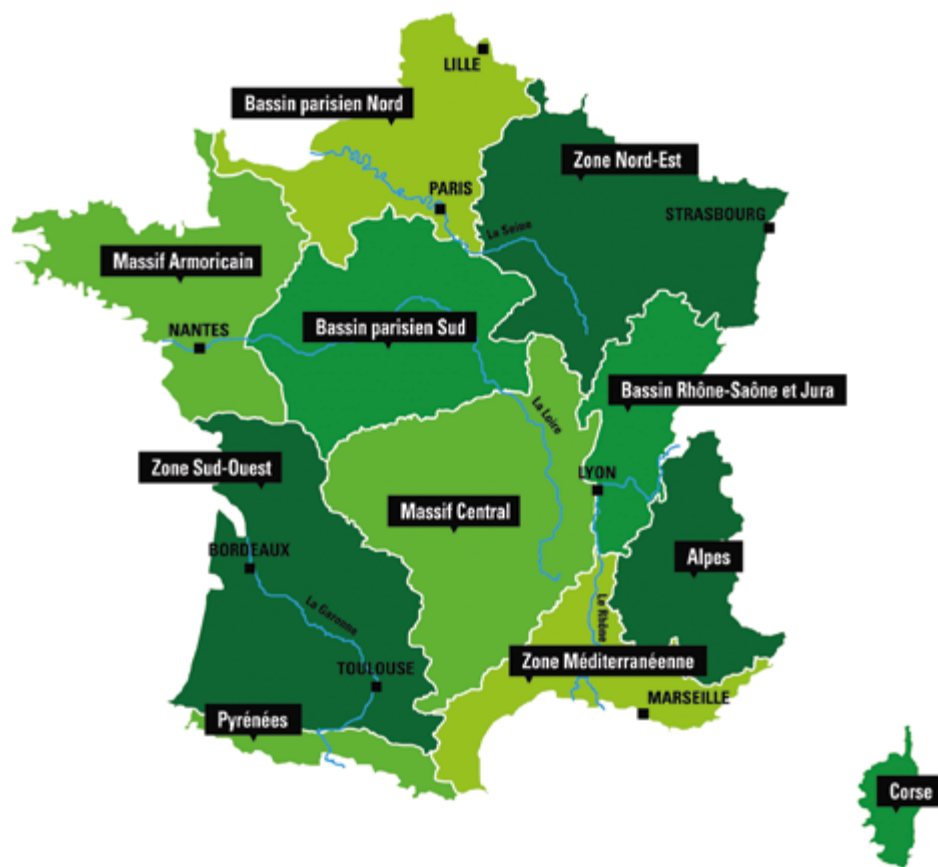


Figure D18 – Carte des régions d’origine Végétal local.

© AFB/Création graphique P.-E. Robert.

Un réseau de correspondants locaux de la marque Végétal local a également été constitué afin de répondre aux questions des opérateurs dans les territoires et permettre une plus grande proximité avec les candidats et les bénéficiaires, dans chacune des régions d’origine. Ce réseau, constitué d’une vingtaine de personnes, est issu des trois structures à l’initiative de la création de la marque.

Chapitre E

Urbanisme

© Arnaud Bouissou/Terra.



Connaissances

Intérêts de la végétalisation pour la résilience des écosystèmes urbains

**Cécile de Munck, Aude Lemonsu
et Valéry Masson,**

Centre national de recherches météorologiques (CNRM),
Météo-France

Encadré 4

Enseignements sur la végétation et la résilience des écosystèmes urbains

La ressource en eau pour l'arrosage est une condition *sine qua non* au pouvoir rafraîchissant de la végétation urbaine.

Différents types de végétation sont pertinents à différentes échelles.

De façon générale les arbres sont plus performants que la végétation herbacée.

En termes micro-climatiques, les toitures végétalisées agissent principalement sur l'isolation des bâtiments.

Les villes tiennent un rôle majeur et complexe dans l'adaptation au changement climatique : d'un côté elles contribuent au réchauffement observé à l'échelle globale de par les gaz à effet de serre que dégagent les activités humaines qu'elles abritent¹, de l'autre elles subissent ce réchauffement global de façon amplifiée du fait du microclimat spécifique qui y règne déjà, connu sous le terme d'*îlot de chaleur urbain*. De nos jours, ce phénomène d'îlot de chaleur urbain² concerne plus de 75% de la population qui vit en ville et plus largement 95% de celle vivant dans les aires urbaines³. Ces perspectives font donc des villes des territoires où non seulement les enjeux d'atténuation⁴ seront les plus forts, mais

1. GIEC, (2014).

2. Centre d'observation de la société, (2019).

3. Le concept d'aires urbaines permet de prendre en compte les personnes qui vivent en périphérie de la ville mais qui y travaillent.

4. De manière complémentaire avec la politique d'adaptation qui anticipe les conséquences du changement climatique, la politique d'atténuation s'attaque aux causes du changement climatique en maîtrisant les émissions nettes de gaz à effet de serre. Elle se matérialise à titre d'exemples par la contribution à la mise en œuvre de l'Accord de Paris au niveau international, de la Stratégie de long terme au niveau européen, et de la Stratégie nationale bas carbone et de la Programmation pluriannuelle de l'énergie au niveau national.

aussi des territoires très vulnérables aux impacts du changement climatique. L'artificialisation des sols étant en grande partie responsable de ce microclimat urbain, les Solutions fondées sur la Nature (SfN) telles que la végétalisation urbaine apparaissent comme des leviers d'adaptation évidents et durables pour répondre aux problématiques des écosystèmes urbains actuels et futurs (augmentation du stress thermique, des consommations énergétiques pour satisfaire les besoins de froid, du ruissellement des eaux de pluie, des débordements des réseaux et des inondations notamment).

● *L'îlot de chaleur urbain : origine et conséquences*

Le phénomène d'îlot de chaleur urbain a été mis en évidence pour la première fois autour de 1820 par le pharmacien britannique Luke Howard. À l'époque, Howard démontre sur la base de relevés météorologiques que les températures au centre de Londres, comparées à celles mesurées simultanément à la campagne, sont 3.7 °F plus chaudes la nuit, soit à peu près 2 °C⁵. Ce phénomène, beaucoup étudié depuis, varie d'une ville à l'autre en fonction des conditions météorologiques locales, de la situation géographique et topographique, et de la taille et la morphologie des villes. Ce phénomène de dôme thermique qui s'établit la nuit est donc caractérisé par des températures de l'air de plus en plus chaudes au fur et à mesure que l'on se rapproche des centres urbains. Pour une grande agglomération comme Paris, son intensité est de l'ordre de 4 °C pour des conditions estivales standards mais peut être beaucoup plus élevée en période de canicule : 8 °C en 2015 et 10 °C en 2003⁶.

En été, ce microclimat plus chaud qu'à la campagne a deux conséquences majeures : d'une part la dégradation du confort thermique des habitants, et d'autre part l'augmentation de la demande énergétique pour assurer les besoins de froid des habitants et des infrastructures, entraînant au passage le réchauffement des températures extérieures⁷ et l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre. Pendant les vagues de chaleur, ces conséquences sont exacerbées, entraînant notamment des impacts sanitaires graves comme on a pu l'observer avec une hausse exceptionnelle de la mortalité de 141% enregistrée en 2003⁸ et une hausse de la demande énergétique pour la climatisation. D'après les projections établies par de récentes études sur Paris⁹, établissant une recrudescence de vagues de chaleur de plus en plus longues dans le futur, c'est à ce type de conséquences que les territoires français risquent de devoir faire face de plus en plus souvent à l'avenir.

5. Howard, (1833).

6. APC et Météo-France, (2018).

7. de Munck *et al.*, (2013).

8. Canouï-Poitrine *et al.*, (2005).

9. Lemonsu *et al.*, (2014).

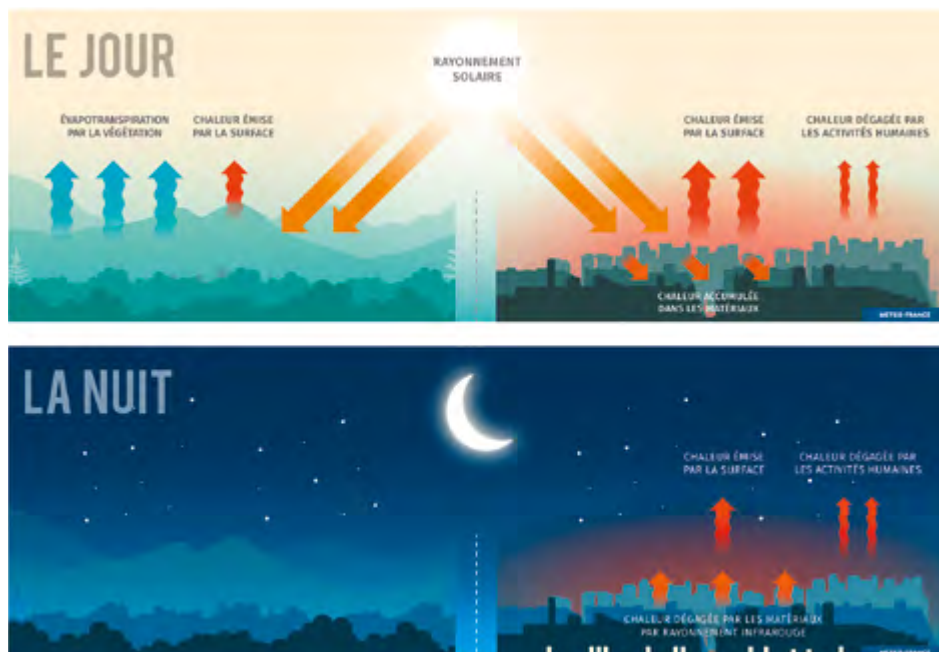


Figure E1 : les mécanismes physiques qui engendrent l'îlot de chaleur urbain.

© Météo-France.

Ce microclimat typiquement urbain s'explique principalement par l'artificialisation des sols et par voie de conséquence leur imperméabilisation, deux phénomènes qui modifient les échanges entre la surface de la Terre et les basses couches de l'atmosphère : contrairement à la campagne qui peut dissiper la majorité du rayonnement solaire reçu en journée par évapotranspiration¹⁰ (figure E1, gauche), les surfaces artificialisées des villes accumulent une partie de l'énergie reçue en journée dans ses infrastructures. C'est ensuite au cours de la nuit que les matériaux artificiels se refroidissent, en restituant aux basses couches de l'atmosphère cette chaleur emmagasinée en journée (figure E1, droite). S'ajoutent aussi en zones urbaines, de nuit comme de jour, des émissions de chaleur d'origine anthropique¹¹.

Une fois cette relation évidente de cause (artificialisation des sols) à effets (îlot de chaleur urbain et ses conséquences néfastes) établie, la pertinence de la ré-introduction de sols naturels et de végétation en ville coule de source, mettant les SfN au premier rang des leviers d'adaptation des villes au changement climatique.

10. L'évapotranspiration regroupe l'évaporation de l'eau contenue dans les sols et la transpiration de la végétation.

11. Relative aux activités humaines (trafic routier, industries, rejets de chaleur liés à la climatisation, etc.).

● *La modélisation pour une approche globale du système urbain*

De même qu'il existe différents types de mesures d'adaptation pour les villes (modification de l'occupation du sol, adaptation de l'habitat et de l'urbanisme avec des formes urbaines et des matériaux plus adaptés, changement des pratiques individuelles, etc.), il existe une grande variété de pratiques de végétalisation mobilisant diverses formes de végétation.

Du fait de leurs caractéristiques différentes (densité, type, dimensions et disposition spatiale dans le tissu urbain), les pratiques de végétalisation peuvent être utilisées pour différents objectifs d'adaptation. Or les effets synergiques de plusieurs formes de végétation ne sont pas encore bien connus. C'est pourquoi l'évaluation de telles solutions d'adaptation passe par une approche globale du système urbain. Ce type d'approche permet de prendre en compte les effets synergiques et antagonistes à la fois d'une même solution sur un ou plusieurs objectifs (par exemple amélioration du confort thermique ou bien réduction du ruissellement de surface), et de plusieurs solutions (arbres d'alignement, toitures végétalisées) sur un seul objectif (par exemple amélioration du confort thermique).

Cette approche, associée au besoin d'évaluer ces solutions d'adaptation pour des villes et des climats variés, implique d'avoir recours à des modèles numériques. Ceux développés à cet effet au Centre national de recherches météorologiques (CNRM-Météo-France), notamment le modèle urbain TEB (*Town Energy Balance*; Masson, 2000), s'améliorent d'année en année : grâce à la simulation de plus en plus précise du fonctionnement énergétique des bâtiments¹², des interactions entre le bâti et la végétation¹³ et au développement d'indicateurs adaptés aux vulnérabilités étudiées, ils permettent de mener des études d'adaptation complexes et réalistes. Ces études sont fréquemment menées sous des conditions de canicule afin de quantifier les performances des solutions d'adaptation dans des situations où la vulnérabilité des villes étudiées est la plus forte.

● *Des solutions d'adaptation pertinentes à différentes échelles*

Pour réduire les impacts du changement climatique et notamment contrer les îlots de chaleur urbains, la végétalisation urbaine peut être déployée à différentes échelles spatiales. Des enveloppes végétales peuvent être envisagées pour les bâtiments (façades ou toitures végétalisées). Les surfaces des rues peuvent être partiellement désartificialisées et aménagées de pelouses et/ou d'arbres, de même que les ronds-points et parkings. Le ré-aménagement d'anciens espaces industriels en parcs urbains peut aussi être une solution intéressante. En pourtour des villes, on peut envisager des ceintures péri-urbaines, boisées ou maraîchères. Ces différentes échelles impliquent évidemment des durées de mise en œuvre et des ressources financières très différentes, de même que l'intervention de différents niveaux de gouvernance politique. Pour le territoire parisien, quelques-unes

12. Bueno *et al.*, (2012); Schoetter *et al.*, (2017).

13. Lemonsu *et al.*, (2012); de Munck *et al.*, (2013a); Redon *et al.*, (2017).

de ces solutions ont été scénarisées pour évaluer leurs impacts respectifs par la modélisation numérique. Ces études ont été menées dans le cadre de différents projets de recherche multidisciplinaires portant essentiellement sur le territoire parisien et pour des situations de canicule (2003 ou futures).

À l'échelle du bâtiment

La scénarisation de la végétalisation extensive¹⁴ des toitures des bâtiments individuels et collectifs et des hangars du territoire a mis en évidence l'intérêt de ces dispositifs pour réduire la demande de climatisation (de 4 %, figure E2), notamment si les bâtiments sont mal isolés. Ces économies d'énergie sont plus importantes, de l'ordre de 12 %, si les toitures végétalisées sont arrosées en été. Cette performance énergétique des toitures végétalisées a aussi été mise en évidence quelle que soit la saison¹⁵. En revanche, ces études montrent que ces dernières, même arrosées, n'ont qu'un potentiel rafraîchissant très limité (moins de 0,5°C sur la température de l'air au niveau de la rue). Néanmoins, en réduisant la demande de climatisation, elles permettent de diminuer les rejets de chaleur émis par les climatiseurs et donc de limiter le réchauffement de l'air engendré par ces derniers au niveau de la rue¹⁶.

À l'échelle de la rue/du quartier

À l'instar des toitures végétalisées, pour ce qui est de la végétalisation de la ville au niveau du sol, un premier projet de recherche¹⁷ a permis de mettre en évidence un élément clé du potentiel rafraîchissant des SfN : sans arrosage, le rafraîchissement est limité, voire inexistant pour la végétation basse. En effet, le rafraîchissement résulte en grande partie¹⁸ du processus d'évapotranspiration des arbres qui nécessite des apports en eau. L'arrosage en été de la végétation urbaine de pleine terre est donc une hypothèse commune à tous les scénarios de végétalisation de pleine terre étudiés par la suite et les consommations d'eau associées sont systématiquement estimées. À cette échelle, l'impact sur le micro-climat local de la désartificialisation du sol urbain et de sa revégétalisation varie énormément selon le taux de végétalisation et les espèces végétales choisies. Pour étudier la revégétalisation de l'urbain, de Munck *et al.*¹⁹ ont réparti l'augmentation de végétation sur l'ensemble de l'agglomération parisienne pour plus d'efficacité et d'équité. Deux types de végétation ont été étudiés : un premier composé essentiellement de végétation basse (pelouse herbacée, VB) et un deuxième composé de végétation mixte arborée (dont 40 % d'arbres feuillus, VM). Même s'ils demandent davantage d'entretien pour le ramassage des feuilles en hiver, les feuillus ou arbres

14. Ajout de végétaux de petite taille, typiquement sédums ou herbacées, nécessitant un substrat de culture fin de 5 cm.

15. De Munck *et al.*, (2014), (2019).

16. De Munck *et al.*, (2013b).

17. EPICEA, (2012).

18. Le rafraîchissement par le biais de la végétation peut également provenir de l'ombrage des feuilles des arbres.

19. (2014), (2018).

à feuilles caduques présentent l'avantage d'entraîner des besoins en chauffage moins importants que les arbres à feuilles persistantes dont le pouvoir de rafraîchissement se poursuit en cette saison principalement par ombrage. Les feuillus présentent donc des avantages aussi bien en été qu'en hiver. Finalement, pour chaque type de SfN, une palette de trois taux de végétalisation a été testée, qui simule la végétalisation partielle (à hauteur de 25, 50 et 75%) des surfaces au sol disponibles hors bâti et voirie, *i. e.* des trottoirs, parkings et ronds-points. La simulation de ces six scénarios de revégétalisation urbaine nous fournit les enseignements suivants en termes thermiques²⁰ :

- Le rafraîchissement sera d'autant plus marqué que le taux de végétalisation sera élevé, allant de 0,25 à 2°C selon le taux de végétalisation et la localisation dans l'agglomération.
- Les solutions comportant des arbres feuillus seront plus efficaces pour rafraîchir les rues que celles composées uniquement de végétation basse. Cette performance variera toutefois en fonction du type de tissu urbain en raison de deux facteurs : la surface au sol disponible et les caractéristiques morphologiques du bâti. À titre de comparaison, pour un même scénario (végétalisation mixte arborée de 75% des surfaces disponibles), la végétalisation permet une réduction du temps passé à l'ombre en stress thermique très élevé (température ressentie > 38°C) d'environ 1 heure dans un tissu d'habitat collectif contre 40 min dans l'habitat individuel. Ceci s'explique principalement par une plus grande disponibilité de surfaces au sol pour la végétalisation dans le tissu collectif.
- Le rafraîchissement maximal engendré par les deux types de végétation n'aura pas forcément la même temporalité : il est plutôt observé en journée pour la végétation basse et de nuit pour la végétation mixte arborée. Cependant cette conclusion est fortement dépendante du calendrier d'arrosage et de la prise en compte ou non des effets d'ombrage des arbres par le modèle urbain.

Ces impacts sont exprimés en pourcentage et exprimés par rapport à la demande en climatisation en condition de canicule (2003) avant végétalisation de l'agglomération parisienne (759 GWh). Les différentes formes de végétation sont ici déclinées en neuf scénarios pour lesquels la végétation est implantée soit sur les toitures des bâtiments adaptés, sans (TVE) ou avec irrigation (TVEirr), ou bien au sol avec de la végétation basse (VB) ou mixte herbacée/arborée (VM) suite à la désartificialisation partielle des rues/ronds-points/parkings (25, 50 ou 75%). Vmax illustre un exemple de combinaison de SfN associant toitures végétalisées irriguées et verdissement de 75% des rues/ronds-points/parkings²¹.

Logiquement, les différents niveaux de rafraîchissement engendrés par chacun des scénarios de revégétalisation partielle des surfaces au sol induisent tous une réduction de la demande de climatisation, qui varie entre -2 et -13% selon le type de végétation et le taux de végétalisation (figure E2). On remarquera que certaines formes de végétation engendrent des réductions de la demande en climatisation similaires pendant la canicule (figure E2) : -7% pour le scénario herbacé le

20. De Munck *et al.*, (2014), (2018).

21. Pour plus de précisions, se reporter à de Munck *et al.*, (2014), (2018).

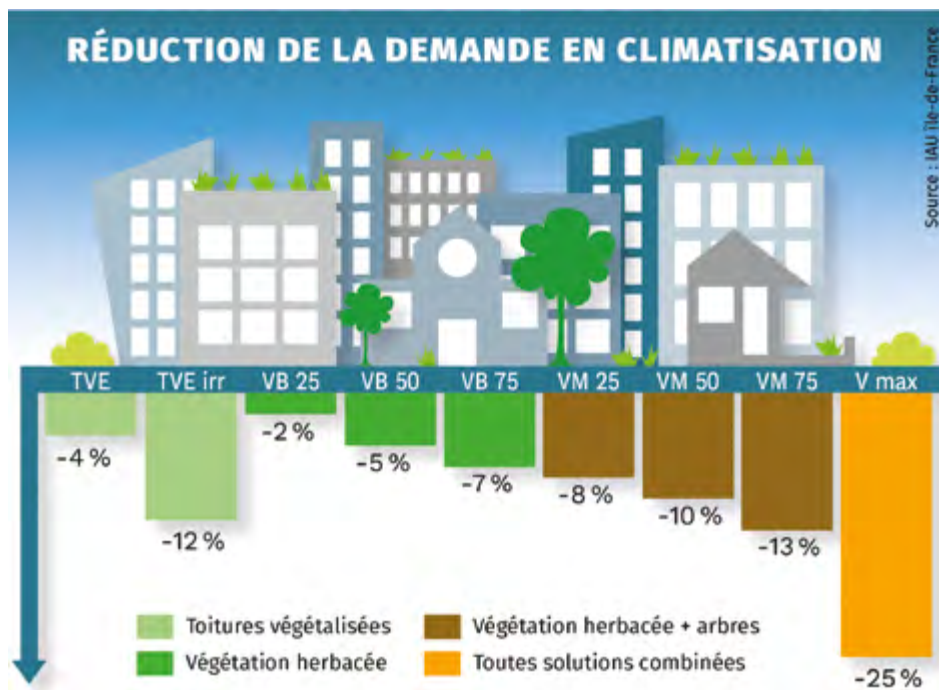


Figure E2 : impacts des différentes formes de végétation sur la demande en climatisation pendant la canicule de 2003.

© Météo-France.

plus conséquent contre -8% pour le scénario mixte arboré le moins conséquent. De même, les toitures végétalisées irriguées et le scénario mixte arboré le plus conséquent présentent des performances similaires (respectivement -12% et -13%). Ces indications permettent d'orienter un choix de végétation adapté aux possibilités du tissu urbain considéré.

Enfin, combiner deux types de végétation permet de cumuler certains bénéfices, comme on peut le voir sur la réduction de la demande en climatisation quand on implante simultanément et massivement toitures végétalisées et végétation mixte arborée (*Vmax*, figure E2) : une réduction de 25% est atteinte, conséquence du caractère isolant de la végétation en toiture et du rafraîchissement engendré par la végétation arborée de pleine terre.

À l'échelle de la ville

En conséquence, la réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain est plus ou moins importante en fonction des types de végétation utilisés (figure E3). La végétalisation des toitures par exemple ne modifie pas l'intensité de l'îlot de chaleur (les profils de températures avant et après végétalisation des toitures sont identiques). L'impact maximal de la végétalisation du sol urbain sur l'îlot de chaleur

est évalué sur la base des scénarios présentant le taux de végétalisation le plus élevé (75 %) : l'impact du scénario de végétation herbacée est relativement faible (-0.25 °C) comparé à celui du scénario de végétation mixte arborée (-1.25 °C).

L'intensité de l'îlot de chaleur parisien est calculée à partir du profil des températures nocturnes moyennes au cours de la canicule le long de la coupe Ouest-Est indiquée sur la carte en haut à gauche. Avant végétalisation, il est de l'ordre de 5 °C. Les profils de températures obtenus pour quatre scénarios de végétalisation sont représentés pour comparaison : toitures végétalisées irriguées, végétation herbacée, végétation herbacée + arbres et toutes solutions combinées, i. e. végétation herbacée + arbres + toitures végétalisées irriguées.

Mais, à l'échelle de la ville, d'autres mesures, plus localisées, peuvent également être envisagées, comme l'implantation de parcs urbains pour créer des îlots de fraîcheur. D'après une étude numérique simulant le ré-aménagement d'un quartier de Marseille en parc urbain²², la création d'un tel parc aurait un effet important sur le rafraîchissement des températures (entre -2.5 et -4 °C en moyenne), effet potentiellement amplifié si combiné avec la présence d'un ruisseau (entre -3 et -6 °C). En revanche, l'effet de rafraîchissement est en moyenne plus marqué la nuit que le jour (avec un maximum entre 1 heure et 5 heure du matin) et est très localisé, avec un rayon d'influence sur les quartiers alentours ne dépassant pas la centaine de mètres. Un certain nombre d'études portant sur des parcs existants montrent que ce rayon d'influence dépend fortement de la taille et la composition du parc²³.

À l'échelle de la région

Les résultats du projet de recherche VURCA de 2013 nous renseignent sur la réponse de la région parisienne à différents scénarios prospectifs d'expansion urbaine lors de vagues de chaleur à l'horizon 2100. Trois scénarios de ville dite verte sont notamment évalués avec des taux de végétalisation minimale de 10, 30 et 50 %, imposés à tous les espaces urbanisés. La simulation de ces scénarios par Lemonsu *et al.*²⁴ suggère que comparée à des scénarios de ville compacte ou étendue, la ville verte est la solution qui permet de réduire le plus le temps moyen passé par les habitants en stress thermique élevé (température ressentie > 32 °C) pendant les canicules, et ce d'autant plus que le taux de végétalisation est élevé, ce qui concorde avec les résultats précédents.

La végétalisation des centres urbains existants peut toutefois poser des difficultés évidentes en raison du manque de place ou des contraintes techniques ou architecturales. Mais l'atténuation du micro-climat urbain peut aussi provenir d'une réflexion sur l'aménagement du territoire à plus grande échelle, incluant les espaces naturels entourant les villes. Cette approche permet d'évaluer davantage

22. EUROMED2; Bidet, (2012).

23. Bowler *et al.*, (2010).

24. Lemonsu *et al.*, (2015).

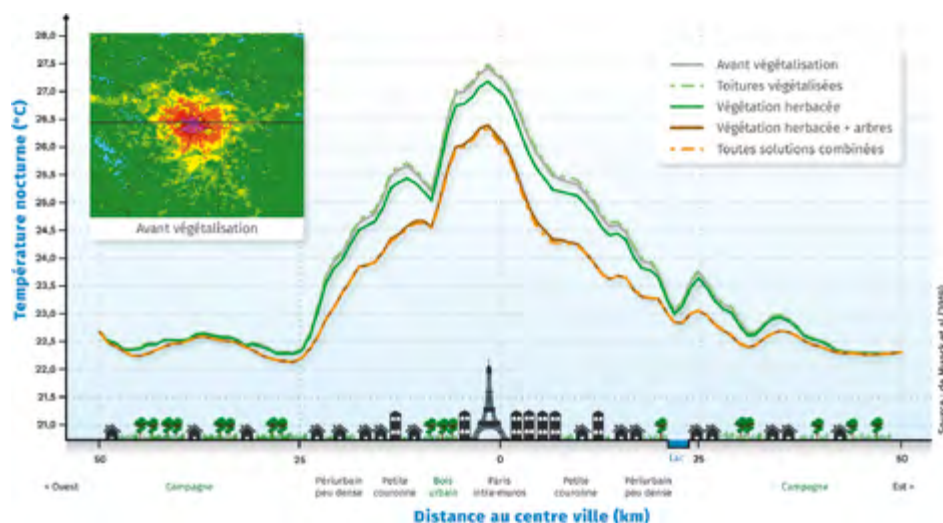


Figure E3 : impacts des différentes formes de végétalisation sur l'îlot de chaleur urbain pendant la canicule de 2003.

Source : de Munck et al., (2018).

de services rendus par la végétalisation, comme la préservation de la biodiversité et des habitats naturels. Les travaux du groupe Descartes²⁵ se sont intéressés à des scénarios repensant le lien entre la ville et la campagne. La simulation d'un de ces scénarios, combinant la création d'une ceinture verte péri-urbaine composée de forêts et de zones maraîchères à 60 km du centre de Paris et des matériaux plus réfléchissants pour les bâtiments résidentiels en petite et grande couronne, suggère un rafraîchissement maximal des températures nocturnes en petite couronne de l'ordre de 2.5 °C et au cœur de Paris jusqu'à 1.3 °C²⁶.

Ressource en eau nécessaire

Quelle que soit l'échelle spatiale considérée, les bénéfices de la revégétalisation de l'urbain dépendent des quantités d'eau utilisées pour l'arrosage. À raison d'un arrosage de 25 L/m²/semaine (permettant de ne pas limiter le pouvoir rafraîchissant de la végétation pour des conditions similaires à la canicule de 2003) pour les formes de végétation envisagées de l'échelle du bâtiment à celle de la ville, il faudrait par exemple être en mesure de fournir 28% d'eau en plus du volume d'arrosage consommé avant végétalisation pour l'arrosage de toitures végétalisées irriguées contre 11 à 33 % pour la végétalisation des sols urbains²⁷. Aussi, à volume d'arrosage égal, les arbres fournissent un rafraîchissement plus prononcé que la végétation basse de type pelouse.

25. Leclercq F., Mimram M. et Nivet S., (2009).

26. Masson et al., (2013).

27. de Munck et al., (2014), (2018).

● Conclusions

La démarche de végétalisation correspond à une désartificialisation conséquente des sols urbains afin de remettre de la végétation en ville puisque c'est la disparition de cette végétation et de ses propriétés qui est à l'origine des îlots de chaleur urbains.

Il est difficile de quantifier les bénéfices thermiques associés à tel ou tel type de végétalisation de façon intrinsèque tant ces bénéfices varient en fonction de multiples facteurs : du taux de végétalisation, de la localisation de la végétation (toitures, sols urbains, sols en périphérie urbaine), du type de tissu urbain qui la reçoit et des conditions météorologiques et d'arrosage.

L'avancée actuelle de la recherche permet toutefois de dresser des conclusions généralisables à tous les territoires. On peut donc conclure des différents projets de recherche précédemment mentionnés les éléments suivants :

- La ressource en eau pour l'arrosage en été est une condition *sine qua non* au pouvoir rafraîchissant de la végétation urbaine. Par conséquent, l'évaluation de la disponibilité de la ressource en eau est un élément clé à considérer en amont de tout projet de végétalisation visant à réguler le micro-climat urbain. D'où l'importance de rechercher des systèmes innovants pour la gestion de la ressource en eau en ville.
- La combinaison de différents types de végétation peut permettre d'agir en synergie sur un même objectif d'adaptation ou d'atténuer différents types d'impacts.
- Le rafraîchissement, l'amélioration du confort thermique et la réduction de la demande en climatisation sont d'autant plus marqués que le taux de végétalisation est élevé.
- Les arbres à feuillage caduc ont un effet sur la régulation du micro-climat nettement supérieur par rapport à la végétation herbacée.
- Les toitures végétalisées sont à privilégier là où la surface au sol est limitée.
- Au-delà de leur effet sur l'isolation des bâtiments, les toitures végétalisées ont également des effets sur la régulation d'autres services urbains, comme la régulation des eaux pluviales²⁸ et la préservation de la biodiversité²⁹.

Pour en savoir plus : parallèlement aux références citées, on pourra se reporter aux rapports des projets de recherche dont ces résultats sont extraits sur la page web du CNRM dédiée à Modélisation, ville et changement climatique : <http://www.umr-cnrm.fr/ville.climat/>

28. Mentens *et al.*, (2006); Voyde *et al.*, (2010).

29. Madre *et al.*, (2013); Dusza Y., (2017).

Politique publique

La mobilisation des Solutions fondées sur la Nature en ville et la démarche ÉcoQuartier

**Céline Guichard
et Hélène Becquembois,**

Direction de l'habitat, de l'urbanisme et
des paysages, ministère de la Cohésion
des territoires et des Relations
avec les collectivités territoriales

Dans le cadre de la démarche ÉcoQuartier³⁰ développée par le ministère de la Cohésion des territoires et des Relations avec les collectivités territoriales, une méthodologie pour guider le porteur de projet dans la conception d'un quartier durable a été élaborée. Elle s'appuie sur un référentiel de vingt engagements regroupés en quatre dimensions :

- Démarche et processus.
- Cadre de vie et usages.
- Développement territorial.
- Environnement et climat.

Le référentiel correspond à une grille de questions que tout porteur de projet ou aménageur doit se poser en amont de la conception d'un projet d'ÉcoQuartier. Les questions reprennent de manière transversale tous les enjeux de la ville de demain et n'appellent pas de réponses prédéfinies. Au contraire, l'objectif est d'inciter à la réalisation d'aménagements qui répondent aux besoins et spécificités des territoires et d'appréhender une démarche progressive vers la ville durable. En matière d'adaptation au changement climatique, les défis urbanistiques à relever, dans les villes, sont essentiellement la lutte contre les îlots de chaleur urbains et la prise en compte des risques d'inondation. La démarche ÉcoQuartier intègre ces questions de manière forte dans sa dimension « Environnement et climat ». L'engagement n° 16 incite à « Produire un urbanisme permettant d'anticiper et de s'adapter aux changements climatiques et aux risques », et permet au porteur de projet de s'interroger autour de trois notions.

30. <http://www.ecoquartiers.logement.gouv.fr/>

Encadré 5

Engagement 16 : « Produire un urbanisme permettant d'anticiper et de s'adapter aux changements climatiques et aux risques »

Notion 1 : prévention des risques

Comment le choix de localisation du projet intègre-t-il les enjeux et aléas identifiés, dans le cas d'un territoire soumis à un ou des risques ?

En quoi la programmation et la conception du projet ont-elles pris en compte les risques, au-delà de la réglementation ?

Comment le projet participe-t-il à la réduction des risques à une échelle plus vaste ? Exemples : réduction du ruissellement, dépollution, bassins d'orage, installations de stockage provisoire, toiture réservoir, etc.

Notion 2 : Adaptation au changement climatique

Les enjeux en matière d'évolution du climat local sont-ils connus ? Comment ont-ils été identifiés ?

Quelles actions avez-vous engagées et quels aménagements avez-vous prévus pour adapter le quartier, les bâtiments et les espaces publics aux évolutions du climat ? Exemples : confort d'été, lutte contre l'îlot de chaleur, espaces verts adaptés, albédo des matériaux, etc.

Notion 3 : sensibilisation

Existe-t-il des dispositifs de sensibilisation de la population aux enjeux des risques et de l'adaptation au changement climatique ?

Encadré 6

Un exemple d'adaptation au changement climatique : ÉcoQuartier ZAC Port Marianne rive gauche, à Montpellier (Hérault)



Figure E4 – ÉcoQuartier ZAC Port Marianne – Rive gauche à Montpellier : Ripisylve du Lez.

© Montpellier.

Le climat montpelliérain se caractérise par un des plus forts taux d'ensoleillement du pays mais aussi par un ensemble d'épisodes pluvieux violents appelés « phénomènes cévenols ». Fréquents dans la région en automne, ils peuvent être à l'origine d'importantes inondations dues au ruissellement et à la saturation des réseaux. Cette vulnérabilité a été prise en compte dès les années 1990 dans le schéma directeur d'assainissement global du quartier Port Marianne.

Des bassins de rétention ont été créés en plein cœur du quartier, afin de collecter les eaux de ruissellement. Ces bassins, connectés au réseau d'assainissement pluvial enterré, sont mis en valeur à travers la réalisation d'aménagements paysagers et de plantations : des rideaux d'arbres viennent ainsi marquer les perspectives. Ces aménagements donnent une double fonction aux bassins : un rôle principal de tamponnage par absorption de l'eau de pluie grâce aux végétaux pour limiter les rejets dans le

fleuve Lez, mais également une fonction « loisir » dans des lieux propices à la pratique de sports, aux rencontres, à la détente. Ils apportent enfin une plus-value paysagère au quartier et constituent des lieux de sauvegarde de la diversité biologique urbaine.

L'enjeu de la création de ces bassins et de leur fort verdissement n'est pas seulement celui de la biodiversité ou de la réduction du risque inondation, il est aussi du domaine de la gestion de la qualité thermique du quartier, en permettant une diminution du phénomène de l'îlot de chaleur urbain qui s'ajoute aux contraintes du climat méditerranéen et qui pourrait prendre de l'ampleur avec le changement climatique.

Ainsi, la présence du Lez, qui permet un apport régulier d'eau à proximité du quartier, associée à la densité végétale de sa ripisylve³¹, va contribuer fortement à rafraîchir la température de l'air ambiant et combattre ce phénomène d'îlot de chaleur.

La végétation, par sa capacité d'évapotranspiration, joue un rôle de régulateur important et conduit à l'abaissement des températures diurnes et nocturnes en période estivale. La palette végétale, composée essentiellement d'essences à fort développement (aulnes, frênes, ormes, saules blancs...), permet le déploiement d'une large canopée mettant à l'ombre des arbres les façades des bâtiments, les espaces publics ainsi que les voiries, apportant ainsi une fraîcheur diurne par l'ombre directe qu'elle produit, concourant à faire sensiblement baisser les températures de surface.

Le plan d'aménagement du quartier et la conception bioclimatique de ses bâtiments permettent d'offrir aux habitants un confort optimal, été comme hiver : hauteurs variables et emplacements alternés pour une meilleure ventilation naturelle, exposition préférentiellement orientée nord/sud pour profiter des apports solaires passifs, bâti peu profond pour créer des logements traversants et favoriser la ventilation naturelle, façades sud et ouest équipées de brise-soleil orientables, isolation thermique par l'extérieur (ITE) pour une meilleure inertie et pourcentage de vitrage ne dépassant pas 50 % par façade pour éviter tout risque de surchauffe. Enfin, le choix des matériaux utilisés pour les bâtiments, à forte inertie thermique et faible albédo, permet une restitution très lente de la chaleur et contribue à la diminution de l'îlot de chaleur.

- Pour en savoir plus sur les opérations et la démarche ÉcoQuartier : www.ecoquartiers.logement.gouv.fr

31. Une ripisylve est une formation végétale qui se développe sur les bords des cours d'eau ou des plans d'eau situés dans la zone frontière entre l'eau et la terre (écotones). Elle est constituée de peuplements particuliers en raison de la présence d'eau sur des périodes plus ou moins longues : saules, aulnes, frênes en bordure, érables et ormes en hauteur, chênes pédonculés et charmes sur le haut des berges.

Études de cas

Les infrastructures vertes : des Solutions fondées sur la Nature pour l'adaptation des villes au changement climatique

**Carmela Apreda*, Alfredo Reder*
et Paola Mercogliano*,****

* REMHI division³², Centre euro-méditerranéen
sur le changement climatique (CMCC)

** Laboratoire de météorologie,
Centre italien de recherches aérospatiales (CIRA)

● La vulnérabilité spécifique des villes au changement climatique

Le changement climatique est étroitement lié aux processus d'urbanisation : le développement rapide de la population, l'augmentation de la demande de logement et d'infrastructures et de services se heurtent à l'urgence de fournir une réponse adéquate aux impacts du changement climatique à travers des processus et des instruments de planification et de développement territorial. Les aires urbaines, en plus d'être fortement menacées par le changement climatique, présentent aussi un niveau élevé de vulnérabilité aux phénomènes liés aux conditions météorologiques, déterminant des caractéristiques intrinsèques et indépendantes des variations climatiques potentielles³³. La morphologie des constructions, le manque de végétation et la propriété thermique et hydraulique des surfaces font parties des causes principales de deux phénomènes typiquement urbains : l'îlot de chaleur urbain et le ruissellement urbain. De tels phénomènes en présence d'extrêmes de température et de précipitation augmentent les effets de la chaleur et des inondations urbaines.

32. La division REMHI (*REgional Models and geo-Hydrological Impacts*) de la Fondation CMCC travaille sur la régionalisation du signal climatique à travers le développement et l'utilisation d'approches de réduction d'échelle statistiques et dynamiques pour l'évaluation qualitative et quantitative des impacts du changement climatique et des variations de l'usage du sol en lien avec les risques géohydrologiques (glissements de terrain, inondations et sécheresse) et des impacts des extrêmes de température sur la population. En relation avec les impacts du changement climatique en milieu urbain, la division développe en ce moment des cadres pour l'évaluation qualitative de la contribution des solutions d'adaptation à travers l'utilisation de modèles de simulation des processus d'inondation et d'îlot de chaleur urbain à l'échelle locale en vue de soutenir les processus de planification et de conception de projet.

33. Dans le cinquième rapport du GIEC, la vulnérabilité est définie comme la proportion d'un élément ou d'un système exposé à être affecté négativement par un événement dangereux (GIEC, 2014). Ceci représente un « état » précédent l'événement, une condition pré-existante qui définit les points faibles de l'élément ou du système, dépendants de ses caractéristiques intrinsèques, qui influent sur sa capacité à se préparer, à gérer et à se remettre d'un événement négatif (Marotta et Zirilli, 2015). Ensemble, le danger et l'exposition concourent à la définition du risque (GIEC, 2014).

● *Les infrastructures vertes comme outil d'aide à la planification territoriale et urbaine : éléments et principes clés*

Les aires urbaines sont reconnues par la Stratégie d'adaptation au changement climatique de l'Union européenne comme un des secteurs d'intervention clés pour réduire la vulnérabilité et augmenter la résilience de la société, en particulier pour les événements climatiques extrêmes et les pénuries d'eau³⁴. L'Union européenne a identifié dans son approche écosystémique une stratégie capable de favoriser le développement de solutions innovantes et durables pour l'adaptation au changement climatique. En particulier, l'Objectif 2 de la Stratégie européenne pour la biodiversité 2020 identifie les infrastructures vertes comme un instrument capable de préserver et de restaurer les écosystèmes et les services qu'ils offrent³⁵. Le concept d'infrastructures vertes, développé à partir de la moitié des années 1990 aux États-Unis, s'est aussi diffusé en Europe récemment : l'importance de la planification du « vert », reconnue dans la sphère politique comme élément clé pour favoriser l'adaptation des villes au changement climatique, a été confirmée en 2013 avec la Stratégie européenne sur les infrastructures vertes. Comme le décrit la Commission européenne, les infrastructures vertes sont constituées d'un « réseau d'aires naturelles et semi-naturelles planifiées au niveau stratégique avec d'autres éléments environnementaux, protégées et gérées de manière à fournir une large gamme de services écosystémiques. En font partie les espaces verts (ou bleus, dans le cas des écosystèmes aquatiques), et les autres éléments physiques sur le territoire continental (incluant les zones côtières) et maritime. Sur le territoire continental, les infrastructures vertes sont présentes à la fois dans les zones rurales et urbaines »³⁶.

Selon la Commission européenne, planifier les infrastructures vertes implique d'intégrer la conservation, l'amélioration et la restauration de la nature, des fonctions et des processus naturels dans les politiques et les instruments de la planification territoriale en fournissant à la société les bénéfices qui y sont associés³⁷. Au niveau opérationnel, cela se traduit par la mise en place d'un environnement normatif favorable à leur construction, considérant un horizon temporel de long terme et adoptant une approche flexible face à la survenue de changements éventuels dans le futur³⁸.

Les infrastructures vertes possèdent des caractéristiques spécifiques et tous les espaces verts ne sont pas forcément des infrastructures vertes. En plus d'être des aires à haute valeur écologique et paysagère, elles doivent constituer une partie intégrante d'une grille interconnectée et être capable d'offrir plus qu'un simple « espace vert ». En milieu urbain, par exemple, un parc peut être considéré comme partie intégrante d'une infrastructure verte s'il est capable de fonctionner

34. Commission européenne, (2013a).

35. Commission européenne, (2011).

36. Commission européenne, (2013b).

37. Commission européenne, (2013d).

38. Benedict et McMahon, (2002); Pauleit *et al.*, (2011); Hansen et Pauleit, (2014).

comme un corridor apportant de l'air frais, d'absorber la sortie d'eau en excès et d'offrir un espace extérieur attractif pour le temps libre et la faune sauvage. D'autre part, une zone végétalisée qui ne fournit pas d'autres services environnementaux ne peut être qualifiée d'infrastructure verte. En zone rurale, les terrains agricoles gérés de manière intensive ne font normalement pas partie d'une infrastructure verte à moins qu'ils ne soient gérés de manière à soutenir la biodiversité locale et à encourager un usage multifonctionnel de la terre, combiné à la production alimentaire et d'autres avantages tels que l'épuration de l'eau³⁹.

Il apparaît donc important de présenter certains principes clés⁴⁰ capables de guider la planification et la construction des infrastructures vertes à diverses échelles d'intervention (ville, quartier, rue, immeuble) tels que l'inclusivité⁴¹ et la transdisciplinarité⁴². À côté de tels éléments de gouvernance, il convient de souligner d'autres caractéristiques qui permettent de définir la structure et la configuration spatiale des infrastructures vertes⁴³ : masse critique⁴⁴, intégration⁴⁵, multifonctionnalité⁴⁶, connectivité⁴⁷, durabilité⁴⁸, multiplicité des échelles d'intervention⁴⁹ et multiplicité des objectifs poursuivis.

En somme, la conception des infrastructures vertes permet d'intégrer les fonctions écologiques dans les processus de la planification territoriale, d'aller plus loin que la simple renaturation des milieux urbains et de favoriser la régénération à travers un usage conscient des éléments naturels, conçus de manière à

39. Commission européenne, (2013c).

40. Benedict et McMahon, (2002; 2006), Naumann *et al.*, (2011), Pauleit *et al.*, (2011), Hansen et Pauleit, (2014).

41. Le processus de planification doit prévoir l'implication de la communauté que ce soit en phases de décision ou de gestion.

42. Le processus de planification doit être fondé sur des connaissances provenant de diverses disciplines et sur la collaboration entre de multiples champs disciplinaires (ex. : planification territoriale et urbaine, ingénierie hydraulique, conception environnementale, architecture du paysage) de manière à garantir le développement d'infrastructures vertes multifonctionnelles et avantageuses d'un point de vue économique, et entre les agences de l'État, les professionnels et les parties prenantes, qui collaborent pour créer une vision partagée du développement territorial.

43. Benedict et McMahon, (2006); Naumann *et al.*, (2011); Pauleit *et al.*, (2011); Hansen et Pauleit, (2014).

44. Les éléments qui composent une infrastructure verte doivent faire partie d'un habitat plus grand, un corridor ou un réseau qui a une fonction plus large.

45. Les infrastructures vertes doivent être conçues comme des infrastructures intégrées, que ce soit en termes physiques ou fonctionnels, avec les autres éléments du territoire (ex. : système de gestion de l'eau, réseau de transports).

46. Les infrastructures vertes sont capables de soutenir de multiples fonctions écologiques, sociales et économiques qui doivent être considérées et combinées de manière pertinentes en phase de conception de projet.

47. Les éléments naturels connectés ou non de manière inadéquate offrent beaucoup moins de bénéfices comparé à ceux qu'ils pourraient offrir potentiellement. Donc, la conception des infrastructures vertes implique de prévoir la mise en place d'une connexion physique et fonctionnelle entre les espaces verts à différentes échelles pour répondre à divers objectifs (augmentation de la biodiversité, gestion des eaux pluviales, régulation du climat local, soutien aux activités récréatives).

48. Afin d'être en mesure d'offrir des services appropriés à la société, les infrastructures vertes nécessitent des investissements et de l'entretien; elles doivent en effet se substituer à chacune des fonctions normalement assurées par les infrastructures grises.

49. Les infrastructures vertes doivent être utilisées à diverses échelles d'intervention, que ce soit au niveau de l'immeuble, du pâté de maison, du quartier ou bien aux niveaux régional et national, et elles doivent opérer en synergie à travers ces différentes échelles.

améliorer la performance du milieu construit en relation avec de multiples défis dont celui de l'adaptation au changement climatique.

● *Expérimentations à l'échelle territoriale et urbaine*

En fonction de l'échelle, il existe différents types d'infrastructures vertes et différentes manières de les intégrer à la planification urbaine, comme le montrent les études de cas suivantes :

*Infrastructures vertes à l'échelle de la métropole :
la ceinture verte de Vitoria-Gasteiz⁵⁰, Espagne*

Le projet de ceinture verte, c'est-à-dire une bande verte semi-naturelle disposée en partie sur une zone précédemment dégradée, est né de l'exigence de donner une réponse adéquate au boom démographique qui a eu lieu entre les années 1960 et 1990. Au lieu de construire un quartier d'habitat périphérique, l'idée a été de créer un grand espace vert à usage récréatif autour de la ville en partie sur les zones les plus dégradées. À travers les politiques et les instruments de planification urbaine selon un processus long et graduel, il a été possible d'inclure les fonctions écologiques dans le développement urbain de la ville. À la fin des années 1960 le gouvernement de Vitoria-Gasteiz a décidé d'investir dans les espaces ouverts et dans les zones vertes en réquisitionnant pour un usage public 25 % des nouveaux lots avec le plan de réglementation de 1963. Mais c'est surtout à partir de 1993 que la gestion des espaces ouverts périurbains est devenue une stratégie déterminante pour le développement de la ville, par l'élaboration du projet de la ceinture verte. La ceinture verte se configure comme un ensemble de parcs à haute valeur écologique reliés à des corridors écorécréatifs. Dans le centre urbain, le réseau des espaces verts est constitué d'une multiplicité d'éléments, de parcs de quartier, de jardins, de rues bordées d'arbres, de solutions de verdissement des bâtiments, mises en œuvre principalement dans le but d'augmenter la biodiversité et l'attractivité des espaces publics, de promouvoir des modalités de déplacement durable et garantir une gestion efficace du cycle de l'eau. Le projet de ceinture verte s'est révélé efficace pour réduire les impacts du changement climatique en favorisant l'adoption de mesure d'adaptation. Les zones boisées jouent un rôle fondamental de régulation du climat pendant que les grandes zones vertes fluviales permettent de réguler les processus de ruissellement et de prévenir les phénomènes d'inondation.

Infrastructures vertes à l'échelle de la circonscription/du quartier : le plan de gestion des eaux pluviales de Pontilly, Nouvelle-Orléans, États-Unis

Le plan de gestion des eaux pluviales de Pontilly s'applique aux deux quartiers de la Nouvelle-Orléans, Pontchartrain Park et Gentilly Woods. Pendant des décennies

50. Vitoria-Gasteiz est le chef-lieu basque de la province de Álava dans l'Espagne septentrionale, délimitée au nord par le fleuve Zadorra et au sud par les montagnes de Vitoria, deux éléments de grand intérêt écologique à l'échelle territoriale.

la zone a subi des pertes et des dommages liés à la fréquence des phénomènes d'inondation, en plus des pertes causées par l'ouragan Katrina de 2005. Suite à cet événement, l'association des voisins du quartier a constitué la *Pontilly Disaster Collaborative* (PDC) avec pour but de chercher des financements pour la réalisation d'un plan d'atténuation des risques et de gestion des eaux pluviales. Avec le soutien de l'Autorité de redéveloppement de la Nouvelle-Orléans (NORA), propriétaire de divers bâtiments résidentiels dans la ville, le projet de réalisation d'une infrastructure verte dans la zone de Pontilly a réussi à obtenir 15 millions \$ de l'agence fédérale pour la gestion des urgences (FEMA) en 2008 dans le cadre du programme de subvention pour l'atténuation des risques (HMGP). Le plan vise à favoriser l'adaptation de la communauté au changement climatique et aux risques d'inondation en permettant le stockage de l'eau de pluie et en renforçant la cohésion sociale à travers la mise en place d'espaces verts et l'inclusion de la communauté. Le plan se fonde principalement sur l'utilisation des lots résidentiels vacants (que les propriétaires n'ont plus l'intention de reconstruire après l'ouragan Katrina) pour l'aménagement de lots à eau de pluie (*stormwater lots*), c'est-à-dire de zones de rétention de l'eau pluviale. L'agrégation des lots vacants a permis la création des parcs à eau de pluie (*stormwater parks*). Sur les bords des marche-pieds et sur les côtés des rues sont respectivement prévues des zones végétalisées de rétention et de drainage. L'objectif principal est de favoriser le traitement et la disposition locale des eaux pluviales, en évitant d'encombrer le système des égouts : toutes les solutions sont conçues pour fonctionner comme un système unique de gestion de l'eau, en vue de la réduction des crues⁵¹. Afin d'évaluer la contribution des interventions de verdissements dans la réduction des impacts des événements pluvieux, les processus hydrologiques et hydrauliques ont été modélisés, en considérant la performance de toutes les solutions mises en œuvre (parcs et lots à eau de pluie, surfaces réalisées avec des matériaux perméables, zones végétalisées de drainage, zones végétalisées de rétention sur les routes, agrandissement du canal de Dwyer). Ensuite trois scénarios ont été conçus (minimum, moyen, maximum) en fonction du nombre de lots vacants à transformer en parcs et en lots à eaux de pluie⁵². La modélisation a montré une réduction significative des crues et du nombre de propriétés endommagées.

Infrastructures vertes à l'échelle du bloc de maisons/de l'immeuble : le plan d'adaptation au changement climatique StEP Klima de Berlin, Allemagne

Le plan d'adaptation de Berlin a été élaboré en 2016. Ce plan adopte des stratégies d'intervention diversifiées en fonction de chaque phénomène climatique, c'est-à-dire des mesures liées à la chaleur ou à l'eau. Dans le premier cas, des mesures sont prévues pour augmenter la ventilation naturelle, l'ombrage, la réflexion, le verdissement, l'évapotranspiration et le confort. Dans le second cas, les mesures prévues rentrent dans le cadre de la « stratégie de l'éponge » : les surfaces urbaines sont constituées comme des instruments capables d'emmagasiner l'eau en excès après la survenue de précipitations intenses pour la

51. Crauderueff et al., (2012); Thomas et De Weese, (2015).

52. Crauderueff et al., (2012); CDM Smith, (2015).

restituer successivement à travers des processus d'évapotranspiration durant les périodes de chaleur. Les mesures d'adaptation sont conçues pour favoriser l'infiltration, la transmission, le stockage et la rétention des eaux en excès et la protection face aux phénomènes d'inondation. Le plan analyse sept éléments, dont cinq îlots de diverses formations et morphologies et deux types d'espaces ouverts, verts et gris⁵³. L'îlot d'époque Wihelmienne (fin xix^e – début xx^e), qui représente 15 % du patrimoine résidentiel de la ville de Berlin, est caractérisé par divers niveaux de criticité qui le rendent vulnérable aux impacts du changement climatique. Il présente une forte densité de construction et une forte utilisation des terres, des cours fermées, peu ventilées, avec un revêtement imperméable et un grand nombre de toits inclinés qui ne permettent pas la pose de toits végétalisés plans. Des mesures ponctuelles mais appliquées de manière diffuse sont attendues, principalement des opérations de verdissement dans les cours, de désimperméabilisation des surfaces et l'insertion d'arbres pour favoriser l'ombrage. Il est aussi prévu un découplage du système de drainage de l'eau pluviale d'avec le système d'égout pour réduire la charge de drainage, et l'utilisation de toits verts pour retarder la sortie d'eau et favoriser la rétention. En outre, les solutions de verdissement sont accompagnées de matériaux à fort albedo pour les toits et les façades exposées plein sud⁵⁴. Les espaces verts et les parcs constituent à l'inverse 44 % de l'aire urbaine de la ville de Berlin. Mais, malgré leur potentiel de rafraîchissement significatif, les grands parcs sont situés principalement loin des zones résidentielles. Les mesures prévues ont surtout pour objectif d'éliminer les obstacles et les barrières entre les espaces verts et les bâtiments en vue d'augmenter le plus possible le rafraîchissement à distance et donc l'efficacité des éléments naturels dans la réduction de la température, même au-delà du périmètre où ils sont situés. L'augmentation prévue du nombre d'espaces verts de taille réduite mais répartis à l'intérieur de la ville permettra de maximiser cet effet de rafraîchissement au bénéfice de tous les espaces ouverts et des bâtiments⁵⁵.

Le concours Capitales Françaises de la Biodiversité 2019 : «Climat : la nature source de solutions»

Gwendoline Grandin,

Agence régionale de la biodiversité
en Île-de-France

Le concours national Capitales Françaises de la Biodiversité⁵⁶ met en lumière chaque année des actions exemplaires de préservation de la biodiversité par des communes et des intercommunalités. Le thème de l'édition 2019 est « Climat : la

53. SenStadt, (2016); Dell'Acqua, (2018).

54. SenStadt, (2016).

55. SenStadt, (2016).

56. <http://capitale-biodiversite.fr/>

nature source de solutions », il récompensera les collectivités agissant de manière conjointe contre le changement climatique et l'érosion de la biodiversité *via* des Solutions fondées sur la Nature (SfN).

Au-delà d'un concours qui permet de désigner la capitale française de la biodiversité et les meilleures collectivités par catégorie (villages, petites villes, villes moyennes, grandes villes, intercommunalités), l'opération est avant tout un dispositif de sensibilisation, d'identification et de valorisation des bonnes pratiques.

L'opération a démarré au mois de mars par une série d'ateliers régionaux, journées de sensibilisation et d'information, et s'est clôturée à l'automne par la cérémonie de remise des prix et la publication du recueil d'actions exemplaires des collectivités autour du thème de l'année.

L'Agence française pour la biodiversité, l'Agence régionale de la biodiversité en Île-de-France et Plante & Cité sont les organisateurs de ce concours. Il est soutenu par les ministères de la Cohésion des territoires et des Relations avec les collectivités territoriales et de la Transition écologique et solidaire, le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) et s'appuie sur de nombreux partenaires.



Figure E5 – Atelier du concours Capitales Françaises de la Biodiversité à La Roche-sur-Yon.

© Gwendoline Grandin, Agence régionale de la biodiversité, Île-de-France.

Le projet Sésame (Services écosystémiques rendus par les arbres modulés selon l'essence)

Luc Chrétien, Marylou Dufournet
et Rémi Suaire,

Centre d'études et d'expertise sur les risques,
l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Le projet Sésame développé par le Cerema, la ville de Metz et Metz Métropole, a permis la création d'outils pour la détermination des espèces d'arbres et d'arbustes à utiliser en milieu urbain, tenant compte des services écosystémiques rendus par ces végétaux. L'outil repose sur la connaissance fine des services rendus par les arbres. Un bouleau constitue par exemple un bon support de biodiversité, mais est très peu efficace en ce qui concerne la régulation du climat urbain. Cette essence émet en outre du pollen allergène. Autre exemple, le Sophora du Japon, très bien adapté au climat difficile des villes dans le contexte du changement climatique, présente une très bonne capacité de régulation du microclimat urbain, mais présente un intérêt limité en termes de support de biodiversité. L'outil intègre ainsi les risques générés par les arbres eux-mêmes : sanitaires (effet allergisant, toxicité) ou physiques (racines superficielles, chute de branches, fruits entraînant des dommages...). Le travail repose sur une liste d'espèces et sur une analyse de plusieurs paramètres spécifiques au contexte messin, notamment en ce qui concerne

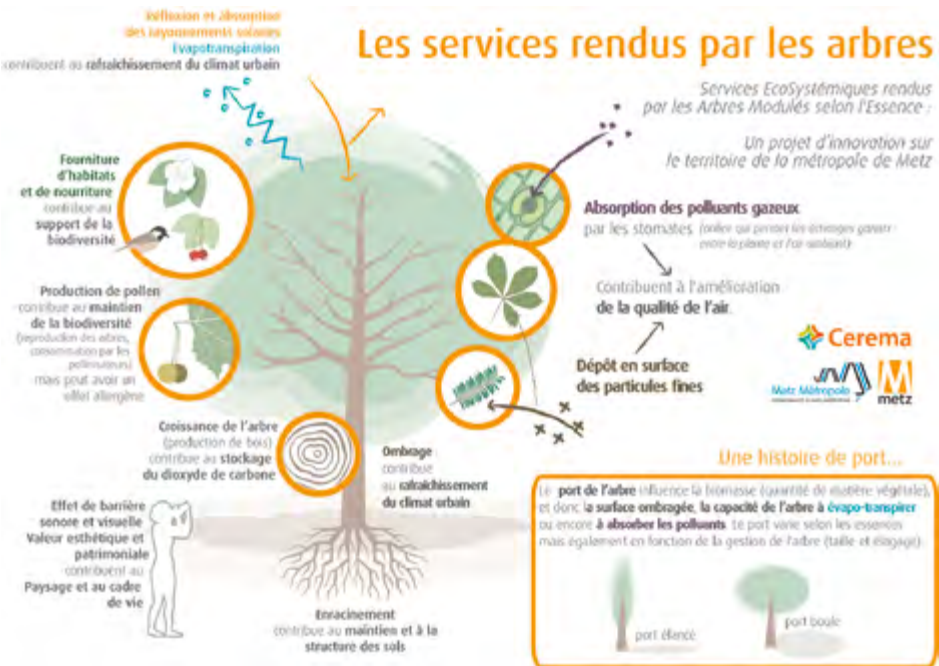


Figure E6 – Services écosystémiques rendus par les arbres modulés selon l'essence.

© Cerema.

la biodiversité (caractère autochtone des espèces), les contraintes (adaptation au climat local) ou le paysage et le cadre de vie. En pratique, il se traduit par une série de fiches par espèce et par un outil informatique d'aide à la conception. Ce type d'outil permet d'objectiver à l'échelle d'un aménagement ou d'un quartier les choix de conception ou de type de végétation à planter en favorisant l'expression des services rendus. Il renforce ainsi la mobilisation de la solution d'adaptation fondée sur la nature que constitue le recours à l'arbre urbain pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Solutions fondées sur la Nature pour limiter l'effet d'îlot de chaleur urbain – exemples d'actions de collectivités françaises

Gilles Lecuir et Marc Barra,

Agence régionale de la biodiversité
en Île-de-France

Localement, les villes engendrent un phénomène d'îlot de chaleur urbain se caractérisant par une température plus élevée qu'aux alentours⁵⁷. Ce phénomène est en partie dû aux matériaux utilisés dans la construction des bâtiments et des rues et à la forme urbaine « en canyon » qui réverbère et « piège » le rayonnement solaire et donc la chaleur. En retour, les villes subissent les conséquences du changement climatique : canicules et intensification des problèmes liés à des événements extrêmes comme les sécheresses ou les inondations. Ces impacts sont d'autant plus inquiétants qu'ils affectent une grande partie de la population qui vit aujourd'hui majoritairement en ville.

C'est dans ce contexte qu'émergent depuis quelques années de nombreuses pistes de solutions. Certaines sont très discutables, comme la climatisation systématique, l'arrosage des chaussées ou le fait de les peindre en blanc. D'autres se fondent sur la préservation et la restauration de la nature en ville, et offrent, en plus des services écologiques, d'autres bénéfices sociaux en termes de santé et de bien-être des citoyens (production d'oxygène, stockage du carbone et filtration des particules, attributs récréatifs, lien social, utilisation positive de l'espace public). En coût global d'investissement et de gestion, ces Solutions fondées sur la Nature s'avèrent d'ailleurs bien moins onéreuses que leurs alternatives issues du génie civil.

● *Végétaliser les rues, les places et les bords de voirie pour réduire l'effet d'îlot de chaleur et mieux gérer l'eau*

La végétation permet de diminuer les températures par les mécanismes d'ombrage et d'évapotranspiration, en particulier durant les mois les plus chauds, et

57. Oliveira et al., (2014).

ainsi de réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain⁵⁸. Toute forme de végétation est bienvenue, depuis les arbres urbains, les jardins et parcs, les massifs. Une attention particulière doit toutefois être portée sur le choix des espèces (privilégier les essences locales variées en pleine terre en évitant les plantations monospécifiques, éviter les espèces allergènes et fortement émettrices de composés organiques volatils) et le mode de gestion (sans intrant, en limitant les interventions).

Mais pour que la végétation rafraîchisse la ville, il lui faut disposer d'eau en période de forte chaleur. La première des actions consiste donc à permettre à l'eau de pluie de ruisseler jusque dans les zones végétalisées. À Crépy-en-Valois⁵⁹, la commune a ainsi conçu un dispositif lui permettant de découper les bordures de trottoirs existantes. Un arrosage sobre à partir d'eau pluviale récupérée et stockée peut parfois être nécessaire, et c'est pourquoi la ville de Versailles⁶⁰ équipe ses voiries de réservoirs enterrés au fur et à mesure des travaux de rénovation de chaussée.

Cette déminéralisation et végétalisation de l'espace public peut se faire à l'occasion de rénovation et réaménagement urbain, dans le cadre de travaux d'ensemble à l'instar de la rue Garibaldi à Lyon⁶¹ (voir figure E7) (voir Plan Canopé de la métropole de Lyon, chapitre C) ou encore à Montpellier⁶² où un parking a été transformé en jardin. Mais elle peut aussi se saisir de la moindre occasion de modifier l'usage de délaissés de voiries, comme à Strasbourg⁶³ (voir figure E8) où les habitants sont invités à signaler toute opportunité de végétalisation de l'espace public (pieds d'arbres, trottoirs, façades...) et à y participer directement.

● *Végétaliser les murs et les toits ?*

En milieu urbain dense où la place manque pour créer de véritables parcs ou planter des arbres, il peut être envisagé de végétaliser les façades des bâtiments et les toitures plates. Pour que ces actions soient cohérentes au regard de l'objectif d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre, il faut qu'elles soient réalisées via des systèmes à faible empreinte écologique (plantes grimpantes, prairies sur toits) plutôt que via des systèmes industriels dont l'intérêt pour la biodiversité comme pour la lutte contre le changement climatique n'est pas avéré.

Sur les murs, dans la majorité des cas, il est préférable (et souvent bien moins coûteux) de privilégier les plantes grimpantes, en utilisant (ou en concevant) les murs et façades comme support de la végétation. En plus de leur facilité d'installation, les plantes grimpantes créent un micro-climat près des murs et régulent la

58. Gill et al., (2007); Oberndorfer et al., (2007).

59. http://capitale-biodiversite.fr/sites/default/files/rapports/rapport_visite_2017_crepy-en-valois.pdf

60. http://capitale-biodiversite.fr/sites/default/files/rapports/rapport_visite_2017_versailles.pdf

61. <https://france3-regions.francetvinfo.fr/auvergne-rhone-alpes/rhone/lyon/video-secrets-amenagement-metropole-lyon-faire-baisser-temperatures-ville-1523146.html>

62. <https://www.montpellier.fr/3451-jardin-demain.htm>

63. <http://www.strasbourgcapousse.eu/envoyer-votre-projet/>



Figure E7 – Végétalisation de la rue Garibaldi à Lyon.

© Laurence Danière, métropole de Lyon.



Figure E8 – Déminéralisation de trottoir et végétalisation participative à Strasbourg.

© Marc Barra.

température et l'humidité relative. Cela participe d'autant à la diminution des effets d'îlot de chaleur en période estivale. À Lille^{64 65} (voir figures E9a et E9b) comme à Montpellier, Montreuil⁶⁶ ou Rennes⁶⁷ (exemples parmi beaucoup d'autres), on favorise ainsi la plantation par les habitants de plantes grimpantes le long de leurs façades. Cela s'accompagne généralement du creusement d'une fosse de plantation étroite et relativement peu profonde dans le trottoir, le long du mur. Un mouvement qui s'étend aussi aux bâtiments publics, et qui contribue à transformer fortement le paysage urbain. Ces stratégies s'accompagnent d'édition de guides et d'outils méthodologiques extrêmement précis et documentés, à l'instar de ceux réalisés par Strasbourg⁶⁸ et Paris⁶⁹.



Figures E9a et E9b – Végétalisation de façades publiques comme privées à Lille.

© Gilles Lecuir.

64. <http://capitale-biodiversite.fr/sites/default/files/experience/documents/lille-cr-visite-cfb-2018.pdf>

65. Voir Projet Interreg Adaptation « Nature Smart Cities Across the 2 Seas », chapitre I.

66. <http://www.montreuil.fr/environnement/montreuil-est-notre-jardin/on-seme-a-montreuil>

67. <https://metropole.rennes.fr/jardiner-en-ville>

68. <http://www.strasbourgcapousse.eu/outils/>

69. <https://www.paris.fr/vegetalisonslaville>

Sur les toits végétalisés (voir figure E10), l'effet attendu de rafraîchissement dépend très probablement du mode de végétalisation et son impact sur la réduction de la température au niveau de la rue est incertain. L'étude GROOVES que mène l'Agence régionale de la biodiversité en Île-de-France sur trente-six toitures végétalisées d'Île-de-France depuis 2017 comprend des mesures sur l'évapotranspiration des végétaux effectuées par le Cerema⁷⁰, avec des résultats attendus fin 2019. L'efficacité des toitures végétalisées en matière de rétention des pluies intenses et d'accueil de la flore spontanée est en revanche démontrée par cette étude, à condition que l'épaisseur du substrat soit de 25 cm au minimum et que sa composition soit proche de celle d'un sol « naturel »⁷¹.



Figure E10 – La toiture végétalisée de l'école des sciences et de la biodiversité à Boulogne-Billancourt.

© Gilles Lecuir.

70. https://www.cerema.fr/system/files/documents/2017/09/jsteauxpluviales_ramier_poster_evapotranspiration.pdf

71. <http://www.arb-idf.fr/article/retour-conference-publique-la-toiture-vegetalisee-veritable-ecosysteme-urbain-2018>

Retour d'expérience sur la réglementation urbaine pour favoriser le déplacement d'espèces dans un contexte de changement climatique

Anne-Lise Bonin,
Acer campestre

Un exemple d'intégration dans un Plan local d'urbanisme (PLU) (commune du Versoud dans l'Isère) de dispositions favorisant le maintien de la trame verte et de la perméabilité de l'espace urbain⁷² et d'un coefficient de biotope par surface.

Les « orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques » issues du Grenelle de l'environnement identifient les continuités écologiques comme un moyen d'accompagner les évolutions du climat, en permettant à une majorité d'espèces et d'habitats de s'adapter aux variations climatiques en facilitant leur déplacement vers des milieux plus favorables notamment vers le nord et en altitude. Le renforcement de ces échanges, notamment génétiques, réduit par ailleurs la vulnérabilité de ces espèces et habitats. Les documents d'urbanisme, devant intégrer la Trame Verte et Bleue (TVB), ont donc un rôle primordial à jouer dans la préservation des continuités écologiques face aux impacts du changement climatique.

Dès le lancement de la révision du PLU, en 2017, les élus de la commune du Versoud ont souhaité une véritable intégration de la TVB. Au-delà de la déclinaison et de la protection de la TVB identifiée dans le Schéma de cohérence territoriale (SCoT) (parcelles classées au PLU en zones naturelles ou agricoles, où, en règle générale, ne peuvent être autorisées que les constructions et installations nécessaires à l'exploitation agricole et forestière, à des équipements collectifs ou à des services publics), les composantes de la TVB ont été précisées au niveau local. Un travail de terrain (parcours de la commune pour évaluer la fonctionnalité des continuités écologiques et expertise écologique des sites potentiels d'urbanisation) et de photo-interprétation⁷³ a permis de compléter au niveau communal les réservoirs de biodiversité et corridors écologiques identifiés par le SCoT de la région urbaine de Grenoble et par le Schéma régional de cohérence écologique (SRCE) Rhône-Alpes.

Ce travail a mis en évidence le réseau de prairies et vergers qui subsiste dans la matrice urbaine et qui permet de proposer des espaces relais (voir figure E11) pour les circulations des espèces. La commune compte également des espaces interstitiels (fossés, chantournes, talus, etc.) et des jardins privés qui assurent une certaine perméabilité du tissu bâti et des espaces relais pour la faune. Ces espaces revêtent une importance particulière en termes de fonctionnalité écologique

72. Un espace urbain perméable est un espace qui est pénétrable, ouvert, et où la faune peut aisément circuler.

73. La photo-interprétation est l'analyse de photographies aériennes permettant d'identifier des groupements végétaux selon les textures, les tonalités (couleurs), les formes et les tailles des éléments visibles.



Figure E11 – Espaces relais dans la trame urbaine du Versoud.

© Acer Campestre.

(maintien de la liaison montagne-plaine), c'est pourquoi la commune a mené une démarche spécifique pour leur maintien dans le tissu bâti.

Pour préserver la Trame verte dans le tissu urbain, les élus ont souhaité :

- Mettre en place un Coefficient de biotope par surface (CBS)⁷⁴ (voir figure E12). C'est un coefficient qui décrit la proportion des surfaces favorables à la biodiversité (surface éco-aménageable) par rapport à la surface totale d'une parcelle. Il permet d'évaluer la qualité environnementale d'une parcelle, d'un îlot, d'un quartier, ou d'un plus vaste territoire. Ainsi, dans le PLU, un CBS est imposé aux opérations d'aménagement dans les zones urbaines (0,5 par exemple dans les zones d'habitat hors tissu urbain ancien), ce qui permet de conserver un minimum de surfaces d'intérêt écologique dans le tissu urbain. Ceci s'avère tout à fait compatible avec la densité urbaine, sous réserve de limiter le stationnement aérien.

74. Le Coefficient de biotope par surface (CBS) a été introduit dans le règlement du Plan local d'urbanisme (PLU) par la loi n° 2014-366 du 24 mars 2014 pour l'accès au logement et un urbanisme rénové dite loi ALUR et dénommé : « Part minimale de surfaces non imperméabilisées ou éco-aménageables. » L'application de ce coefficient est facultative et doit tenir compte du contexte local dans lequel il s'inscrit. Le calcul du CBS correspond à la surface perméable ou éco-aménageable par surface de l'unité foncière. (Ministère du Logement et de l'Habitat durable, 2017).

- Réglementer l'urbanisation des réservoirs de biodiversité⁷⁵ secondaires (secteurs de taille plus réduite, jouant un rôle secondaire dans la fonctionnalité des continuités écologiques du territoire du SCoT, mais ayant un rôle dans la TVB au niveau communal) identifiés dans le tissu urbain. En effet, cette urbanisation s'avérera parfois nécessaire pour densifier le tissu urbain, dans le cadre de la limitation de la consommation foncière en extension. Afin de prendre en compte l'intérêt écologique de ces secteurs, le règlement du PLU prévoit, outre l'application du coefficient de biotope de surface imposé aux opérations d'aménagement dans ces zones, de maintenir en surface de pleine terre (avec plantation d'arbres ou arbustes) une part du réservoir de biodiversité secondaire, afin de préserver une partie de la fonctionnalité et de l'intérêt du réservoir.

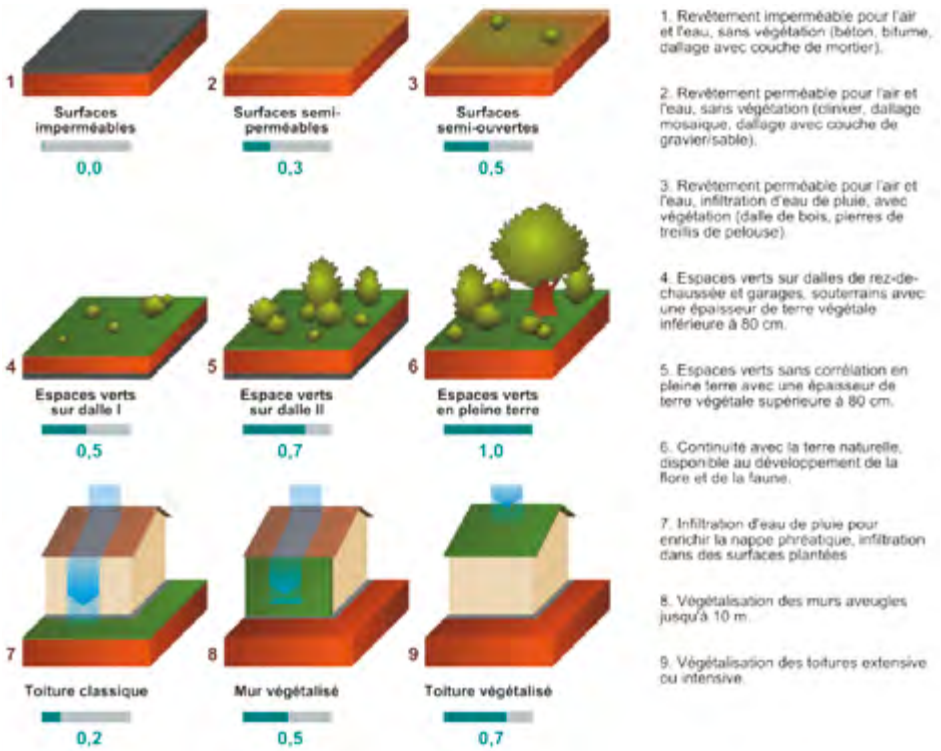


Figure E12 – Schéma d'un coefficient de biotope par surface (CBS).

Source : site du Sénat de Berlin.

75. Les réservoirs de biodiversité sont des espaces dans lesquels la biodiversité est la plus riche ou la mieux représentée, où les espèces peuvent effectuer tout ou partie de leur cycle de vie et où les habitats naturels peuvent assurer leur fonctionnement en ayant notamment une taille suffisante, qui abritent des noyaux de populations d'espèces à partir desquels les individus se dispersent ou qui sont susceptibles de permettre l'accueil de nouvelles populations d'espèces. (Source : Centre de ressources pour la mise en œuvre de la Trame verte et bleue).

Ces dispositions garantissent le maintien d'une perméabilité du tissu urbain (maintien d'une trame naturelle dans le tissu urbain) favorable au déplacement de la faune, tout en permettant à la commune de densifier sa zone urbaine pour limiter sa consommation foncière.

La possibilité de développer ces espaces de biodiversité et surfaces éco-aménageables a été intégrée à l'expertise technico-financière des orientations d'aménagement et de programmation⁷⁶ (OAP), portant notamment sur la charge foncière admissible pour un opérateur au regard des objectifs qualitatifs retenus pour les OAP. Ainsi, les dispositions sur la qualité environnementale des espaces doivent être abordées en relation avec les autres aspects du projet, portant sur le stationnement, la qualité du bâti, la modulation adaptée du locatif social (commune soumise à la loi « Solidarité et renouvellement urbain (SRU) »), l'optimisation des équipements privatifs et l'identification des équipements publics ainsi que les conditions de leur financement. Les dispositions retenues pour les OAP ont permis de définir de manière plus globale des prescriptions réglementaires sur l'environnement pour les secteurs non soumis à OAP.

76. Créées par la loi « Solidarité et renouvellement urbain (SRU) » et complétées par la loi Grenelle 2, les orientations d'aménagement et de programmation (OAP) visent à définir des intentions d'aménagement sur un secteur donné, quelle qu'en soit l'échelle (îlot, quartier, commune, groupe de communes, territoire intercommunal...). Les OAP sont opposables aux autorisations d'urbanisme dans un lien de compatibilité.

Chapitre F

Prévention et gestion des risques et des catastrophes naturels

© Laurent Mignaux/Terra.



Connaissances

Travaux de recherche sur la prévention des risques, l'adaptation et les Solutions d'adaptation fondées sur la Nature

Freddy Rey,

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

- *Accroître la résilience des territoires vis-à-vis des risques naturels dans un contexte de changement climatique*

Les stratégies à mettre en œuvre pour limiter l'impact du changement climatique sur les biens et les personnes soumis à des risques naturels en France ont été définies dans le deuxième Plan national d'adaptation au changement climatique¹ (PNACC2). Il y est question d'adapter les pratiques d'aménagement, via notamment la restauration écologique des milieux dégradés qui doit permettre d'accroître la résilience des territoires. Cela concerne autant les risques terrestres (érosion, feux de forêts...) que les risques liés à l'eau (inondations, crues, sécheresse...). Les Solutions fondées sur la Nature (SfN), qui s'appuient sur des écosystèmes sains, résilients, fonctionnels et diversifiés, apparaissent comme une réponse multiservice permettant de s'adapter aux risques naturels – et même de les réduire² – tout en favorisant la biodiversité. Se posent alors des questions pour l'intégration de ces solutions dans la planification territoriale, dans une optique de réduction de la vulnérabilité des territoires impactés par le changement climatique : quelles stratégies et quels moyens d'adaptation ?

De telles questions constituent une source d'innovation pour les bureaux d'études, en même temps qu'elles mobilisent les scientifiques. En termes de recherche au service de l'ingénierie et de la technique, l'enjeu est de développer de nouvelles connaissances à même de nourrir de nouveaux outils (modèles, plateformes technologiques, guides...) à mobiliser pour le choix et le dimensionnement d'ouvrages de prévention ou de protection contre les risques naturels, qui concilient diverses fonctions et donc bénéfices. Ces outils doivent prendre en compte des seuils d'efficacité des ouvrages par rapport à un processus ou aléa naturel donné. Dans certains guides, on peut trouver de telles valeurs-seuil et des préconisations de dimensionnement des ouvrages en conséquence. Le climat changeant, les seuils vont changer aussi et il faudra donc adapter ce dimensionnement. Les SfN, qui font grandement appel à l'utilisation du vivant et en particulier à la végétation,

1. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/adaptation-france-au-changement-climatique#e2>

2. <https://uicn.fr/wp-content/uploads/2018/06/brochure-sfn-mai2018-web-ok.pdf>

sont particulièrement concernées. Ainsi, une adaptation du choix des espèces végétales à utiliser dans les ouvrages, pour une zone géographique donnée, peut s'imposer. Le changement climatique risque en effet de déplacer les aires de répartition des espèces utilisées en génie végétal. Il peut en particulier remettre en cause la survie d'une espèce là où cette dernière était présente et efficace depuis des décennies. Il faudra alors trouver d'autres espèces, adaptées au climat changeant et permettant de pérenniser les protections acquises.

En conséquence, face aux risques naturels dans un contexte de changement climatique, l'un des enjeux qui se pose aujourd'hui aux ingénieurs-conseils et aux scientifiques est d'adapter les outils d'ingénierie basés sur le vivant, notamment d'ingénierie écologique et végétale. C'est le cas pour les risques en milieu terrestre. Par exemple, la gestion durable d'une forêt est susceptible de subir directement l'impact du changement climatique et doit donc nécessairement être adaptée. L'optimisation de cette gestion permettra alors de mieux prévenir les risques d'érosion, de chutes de blocs ou d'avalanches, dans un contexte climatique plus contraint. Mais on trouve tout autant d'interrogations dans le domaine des risques liés à l'eau, encadré par la directive 2007/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation dite « directive inondation » et ses déclinaisons nationales (de la Stratégie nationale de gestion des risques d'inondation aux stratégies locales), mises en œuvre notamment au travers de la nouvelle compétence Gemapi³ (Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations).

Deux exemples d'application sont développés ci-après :

- *La forêt, une solution naturelle aux problèmes d'érosion sur les versants de montagne*

L'érosion et les crues torrentielles sont de loin les aléas naturels, déclarés ou potentiels, les plus importants en France. Afin de lutter contre ces phénomènes, les terrains dégradés des Alpes ont fait l'objet, à la fin du ^{xix}^e siècle, d'importants travaux de génie végétal et de reboisement. La réduction de ces aléas impose aujourd'hui une sylviculture rigoureuse de 66% des forêts de protection (en surface) à l'échelle nationale, proportion qui atteint près de 75% dans les Alpes du Sud où la vulnérabilité des peuplements est plus importante. Parmi ces peuplements, qui sont majoritairement d'origine artificielle et se présentent très souvent sous forme de futaies régulières, le pin noir d'Autriche est l'essence dominante, suivi du pin sylvestre.

Aujourd'hui, cent ans après les premières opérations de restauration, la pérennité de ces peuplements, qui subissent de plein fouet le changement climatique, est menacée. Il faut donc trouver le moyen de renouveler la couverture forestière existante⁴, tout en répondant aux exigences climatiques, écologiques et finan-

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

4. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01180744>



Figure F1 – Forêt à rôle de protection contre l'érosion.

© Freddy Rey.

cières actuelles. Les scientifiques mènent ainsi des travaux pour comprendre le lien entre végétation et érosion, et étudient l'impact des coupes de régénération dans les peuplements forestiers sur les phénomènes érosifs. De concert avec les gestionnaires forestiers, ils proposent des outils d'ingénierie écologique pour améliorer la gestion de ces milieux. En particulier, l'identification de zones clés d'intervention permet d'optimiser les actions de gestion forestière et ainsi de répondre au principe de « gestion minimale ».

● *Quelles solutions la nature peut-elle offrir pour s'adapter aux risques liés à l'eau ?*

La mise en œuvre de la Gemapi appelle aujourd'hui à des SfN devant permettre d'accorder la prévention des inondations avec la gestion intégrée des milieux aquatiques. Des actions articulées autour de l'aménagement de champs d'expansion des crues ou du maintien de plaines inondables ou de zones humides, ainsi que de solutions basées sur l'utilisation d'ouvrages de génie écologique et végétal⁵, complémentaires à des ouvrages de génie civil, doivent notamment permettre de mieux prévenir les inondations, tout en restaurant les milieux, de manière intégrée à l'échelle d'un bassin-versant.

5. <http://www.set-revue.fr/les-solutions-fondees-sur-la-nature-pour-accorder-la-prevention-des-inondations-avec-la-gestion>

L'évaluation de l'efficacité de ce type de solutions, particulièrement sur la prévention des inondations, reste cependant aujourd'hui un défi majeur auquel les chercheurs tentent de répondre, par une approche interdisciplinaire permettant d'évaluer leur plus-value écologique et sécuritaire dans le cadre de la Gemapi. Ainsi, en lien avec le Plan Biodiversité⁶ de 2018 du ministère de la Transition écologique et solidaire, qui affiche son soutien au « Déploiement des Solutions fondées sur la Nature pour des territoires résilients » dans son Axe 1 sur la Reconquête de la biodiversité dans les territoires, les objectifs des chercheurs sont d'apporter des éléments de réponse à diverses questions : quelles pistes de réflexion envisager pour une meilleure évaluation de l'efficacité (biophysique, économique...) des SfN pour l'adaptation au changement climatique, ainsi que pour l'aide à leur conception, à l'échelle d'un bassin-versant ? Comment optimiser la gouvernance, entre Gemapi et hors-Gemapi (ruissellement, érosion, petit cycle de l'eau), pour des SfN plus efficaces à l'échelle d'un bassin-versant, des points de vue à la fois écologique, économique et social ? Il s'agit *in fine* d'identifier des questions scientifiques partagées à poser, avec une nécessité de développer des approches novatrices par les SfN.

● *Pour une meilleure évaluation de l'efficacité des Solutions fondées sur la Nature pour l'adaptation au changement climatique*

Pour les scientifiques, l'enjeu est aujourd'hui d'engager une réflexion permettant de savoir comment envisager, à l'échelle d'un bassin-versant, une meilleure évaluation de l'efficacité biophysique et économique des SfN mises en avant comme des actions multibénéfices assurant un double rôle de protection contre les crues et les inondations d'une part et de restauration écologique de milieux dégradés d'autre part. On se place ici dans l'optique d'une gestion plus intégrée des risques naturels liés à l'eau et de l'aide à la conception de ces SfN, notamment dans le cadre de la mise en œuvre de la compétence Gemapi. Un objectif serait de dresser un état des connaissances sur les approches de modélisation permettant d'évaluer, grâce à des indicateurs, l'efficacité à la fois des ouvrages de génie civil comme écologique, ainsi que celui des zones végétalisées, en combinant les approches en géosciences et en écologie. Une réflexion pourrait notamment être menée sur la capacité à évaluer les impacts cumulés d'aménagements, intégrant des questions plus particulières d'échelles, d'évaluation des impacts selon différents critères (économique, écologique, sécurité des personnes...), de définition d'indicateurs permettant cette évaluation, de modélisation des crues et de définition des crues caractéristiques qui se retrouvent inscrites dans les plans d'aménagement. Ce travail reste indispensable pour une appréhension cohérente, intégrée et la plus réaliste possible de la gestion des risques liés à l'eau à l'échelle des bassins-versants. Il s'agit d'un travail interdisciplinaire par nature, à la croisée entre géosciences et écologie, mais aussi avec l'économie.

6. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/plan-biodiversite>



Figure F2 – Cours d'eau dégradé (rectiligne) menaçant une habitation en cas de crue.

© Freddy Rey.

- *Pour une optimisation de la gouvernance pour des Solutions fondées sur la Nature plus efficaces à l'échelle d'un bassin-versant*

Une prospection pourrait s'engager pour s'interroger sur la cohérence de la gouvernance actuelle et potentielle, notamment entre Gemapi et hors-Gemapi (ruissellement, érosion, petit cycle de l'eau), pour une gestion réellement intégrée des risques liés à l'eau à l'échelle des bassins-versants, qui prenne en compte les zones naturelles. Un tel travail permettrait aussi de s'interroger sur la manière dont interagissent la sphère des décideurs politiques et des maîtres d'ouvrage d'une part et celle des ingénieurs et des chercheurs d'autre part, avec leurs connaissances des processus biophysiques liés aux risques naturels liés à l'eau, pour l'identification de nouvelles réglementations mais aussi de nouveaux métiers. En conséquence, il s'agirait là aussi d'un travail interdisciplinaire qui en plus des géosciences et de l'écologie, associerait les sciences humaines et sociales (SHS).

Modélisation de l'efficacité et analyse coûts/bénéfices des Solutions fondées sur la Nature face aux risques d'inondation et de sécheresse, Projet H2020 NAIAD

**Roxane Marchal
et David Moncoulon,**

Caisse centrale de réassurance (CCR)

La Caisse centrale de réassurance (CCR) est un réassureur public, en charge notamment de la couverture des catastrophes naturelles en France, depuis 1982. De par sa position, CCR développe une expertise reconnue dans le domaine de la modélisation des impacts financiers des événements naturels. Depuis 2015, année de la COP21 à Paris, CCR et Météo-France ont mis en place une chaîne de modélisation couplant un modèle climatique global (ARPEGE-Climat) aux modèles CCR d'estimation des dommages consécutifs aux inondations, sécheresses et submersions marines. Ces travaux ont conduit à estimer une augmentation des dommages moyens annuels pour ces périls de 50% en 2050 (du fait de l'accroissement de la vulnérabilité, de l'aléa et de l'élévation du niveau de la mer).

Le projet européen H2020 Nature Insurance Value : Assessment and Demonstration (NAIAD) mis en place pour une durée de trois ans (2016-2019) est coordonné par l'Autorité du bassin du Duero (Espagne) et associe vingt-trois partenaires pluridisciplinaires en Europe, dont quatre en France (BRGM, Irstea, université Sophia-Antipolis et CCR).

Ce projet s'inscrit dans la lignée des politiques internationales, européennes et nationales en termes de développement durable, d'adaptation au changement climatique, de réduction des risques et de Solutions fondées sur la Nature (SfN) (Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques (2015-2030), Accord de Paris, Programme de développement durable à horizon 2030, Gemapi, Action pour le climat pour 2030). Les SfN ont des rôles majeurs dans la régulation des inondations, par débordement, par ruissellement et de la sécheresse géotechnique ou agricole. Favoriser la biodiversité et la bonne fonctionnalité des écosystèmes est un enjeu majeur pour la résilience des sociétés face aux impacts du changement climatique liés à l'eau. C'est dans ce cadre que le projet NAIAD a pour objectif d'évaluer et de démontrer l'efficacité des SfN.

Dans chacun des neuf sites d'expérimentation européens (DEMOS), une étude de risque est menée puis des scénarios de SfN – associées ou non à des mesures classiques d'ingénierie – seront évalués. Des méthodes sont conçues et testées dans ces DEMOS pour analyser et évaluer l'ensemble des bénéfices liés aux SfN : réduction des risques et cobénéfices, dénommés « valeur d'assurance des écosystèmes » dans le projet. Parallèlement des actions de communication et d'analyse de la perception des risques naturels et des SfN ont été effectuées. Dans ce projet, CCR, seul représentant du monde de l'assurance/réassurance, a pour objectif de participer à la caractérisation des aléas et apporter son expertise pour la modélisation de la sinistralité dans les deux sites DEMOS français (les crues

éclair/ruissellement sur le Lez à Montpellier et les crues torrentielles/ruissellement sur la Brague à Antibes). Les analyses des événements passés servent de support à l'évaluation des dommages évités et des cobénéfices pour différents scénarios de SfN via des analyses économiques. Les méthodes développées se veulent reproductibles à d'autres DEMOs ou projets.

- *Modèles CCR*

La modélisation des impacts financiers des événements naturels s'appuie sur le développement de modélisations numériques. Les données sources sont les polices et sinistres d'assurance, pour les différents acteurs du marché. Ces données, couplées à une modélisation fine de l'aléa (25 m de résolution pour les inondations et submersions marines), vont servir à créer des courbes d'endommagement (taux de destruction en fonction de l'intensité de l'aléa). L'application des modèles à des portefeuilles dit « marché », c'est-à-dire constitués de l'ensemble des biens assurables d'une commune, va permettre l'estimation des dommages à plusieurs échelles : communale, départementale, de l'événement mais aussi à l'échelle globale annuelle.

- *Cas pratique DEMO Brague*

Dans le cadre du projet, les partenaires Irstea, université de Nice et CCR ont lancé une réflexion sur l'exposition aux risques du bassin-versant de la Brague : les crues torrentielles et le ruissellement urbain dans la partie haute du bassin-versant. Le cas d'étude repose sur l'événement du 3 octobre 2015 ayant frappé le Sud-Est de la France et considéré comme l'événement le plus catastrophique de la dernière décennie sur la Brague. En comparant les sinistres géolocalisés des bases de données CCR avec la zone de débordement de l'événement, on obtient un résultat qui peut paraître surprenant : 40 % des sinistres se situent dans cette zone, les 60 % restants sont en dehors cette zone.

Ce sont les phénomènes dits « de ruissellement » qui génèrent cette sinistralité importante. Le coût moyen des sinistres situés dans la zone inondée est d'environ 40 k€ contre environ 20 k€ en zone dite de ruissellement. Les propriétaires de maisons individuelles sont les plus touchés, représentant 56 % des sinistrés avec une proportion de biens sinistrés de 18 %⁷ (voir figure F3).

7. Le ratio de sinistres/primes est le nombre de sinistres divisé par le nombre de polices. Le ratio sinistres/polices pour les maisons individuelles est le nombre de sinistres en maisons individuelles divisé par le nombre de police en maisons individuelles.

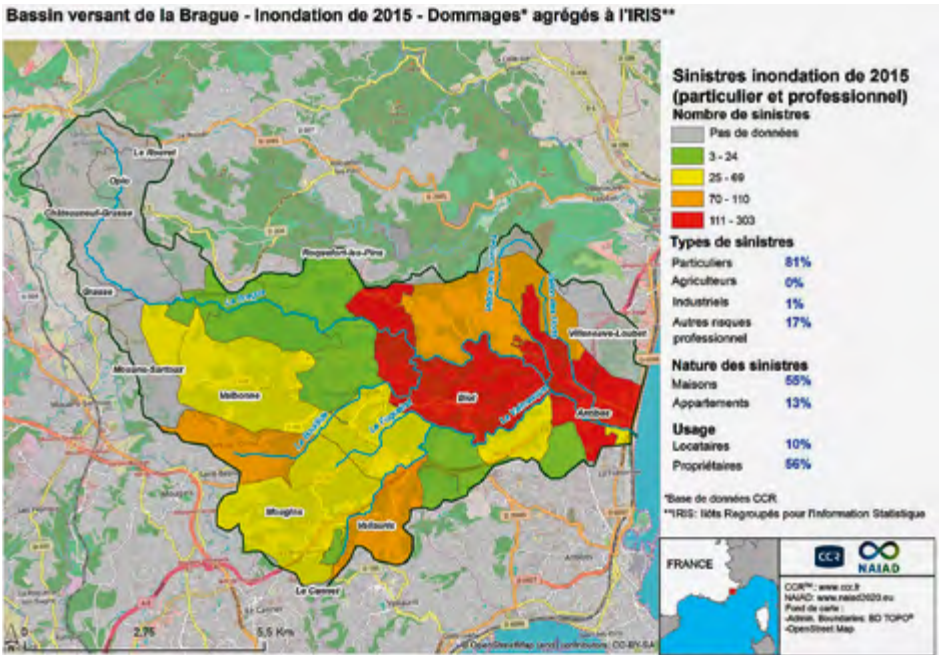


Figure F3 – Sinistres liés à l’inondation survenue en 2015 dans le bassin de la Brague.

© CCR.

En s'appuyant sur les données d'occupation du sol à grande échelle mises à disposition par Crige-Paca et en effectuant des améliorations dans le calibrage du modèle, CCR a pu étudier de manière précise la sinistralité liée au ruissellement urbain.

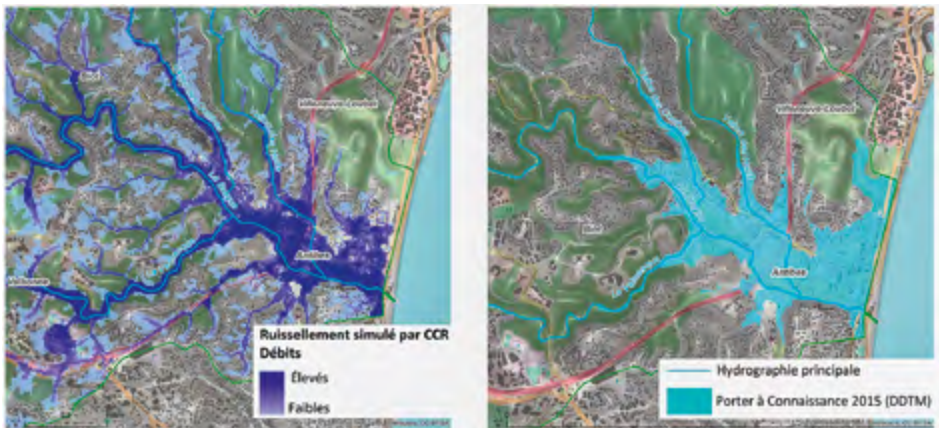


Figure F4 – Comparaison entre l'aléa simulé par CCR et le débordement d'octobre 2015.

© CCR.

La chaîne de modélisation des risques développée par CCR est utilisée dans la modélisation de l'efficacité et du ratio coût/bénéfices des SfN. Après une connaissance précise des phénomènes sur le bassin-versant et de la sinistralité liée, les scénarios de SfN en cours d'élaboration par les partenaires (Irstea et université de Nice) seront intégrés dans la chaîne.

- *Point sur la méthode développée*

Dans le modèle d'aléa, les SfN sont intégrées en modifiant l'occupation du sol (ex. : remplacer une zone urbaine par une zone naturelle) et les coefficients de ruissellements associés ou encore en modélisant la capacité de rétention des sols. Ainsi, le rôle des SfN est traduit en termes de réduction des hauteurs d'eau ou de débits. À noter aussi que ces mesures ont des impacts sur les événements de faibles périodes de retour mais ont moins d'effets sur les événements extrêmes. Ainsi, il est possible de comparer les zones d'aléas avec ou sans ces mesures pour un événement historique donné.

Enfin, le modèle de dommages évalue l'efficacité des SfN en termes de dommages évités. Les courbes de dommages mettent en relation la diminution de l'aléa et le taux de destruction (défini dans le modèle vulnérabilité) pour chaque scénario. C'est pourquoi il est important de calibrer les courbes de dommages en fonction de la sinistralité du territoire étudié pour être le plus représentatif possible. Cette information est à combiner avec les cobénéfices évalués par les partenaires pour chacun des scénarios. Ceci permet d'utiliser les méthodes d'analyses coût/bénéfices multicritères comme éléments d'aide à la décision.

Le projet NAIAD a aussi fait le choix de la co-construction des scénarios et stratégies de SfN avec les acteurs locaux lors d'ateliers collaboratifs. L'un des défis sur le bassin de la Brague est de faire connaître et de démontrer l'efficacité des SfN dans un territoire où la gestion du risque est un sujet sensible ravivant les traumatismes des décideurs et citoyens. Néanmoins, le contexte décisionnaire local peut offrir la possibilité de mettre en place ce type de mesures, associées à des objectifs de mobilité douce, de préservation d'espaces verts et de réduction de la pression urbaine.

Ce projet peut être considéré comme un exemple du nouveau rôle que les (ré) assureurs peuvent avoir dans la prévention des risques en utilisant leurs outils de modélisation des risques dans un contexte de changement climatique.

Politiques publiques

Les Solutions d'adaptation fondées sur la Nature dans la politique de prévention et de gestion des risques et des catastrophes naturels

**Laure Tourjansky
et Damien Goislot,**

Direction générale de la prévention des risques,
ministère de la Transition écologique et solidaire

Nicolas Bauduceau,

Caisse centrale de réassurance

● *Enjeux du changement climatique pour la prévention des risques naturels*

La France a été particulièrement exposée ces dernières années aux catastrophes naturelles 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, puis les crues de l'Aude en octobre 2018. La prévention des risques naturels vis-à-vis de tels événements se fait nécessairement dans la durée, en intégrant autant que possible les évolutions attendues du climat. Un effort très important a été réalisé pour doter les territoires les plus exposés de plans de prévention des risques (11 000 communes couvertes depuis 1995). Pour les prochaines années, les secteurs géographiques qui devraient être le plus impactés par le changement climatique sont le littoral et les zones de montagne. Le premier du fait de la remontée du niveau de la mer et de l'érosion du trait de côte, ce qui va nécessiter un travail de transformation des territoires du littoral. Le second du fait du réchauffement amplifié en altitude, et des conséquences à venir en termes de risque d'origine glaciaire (permafrost et poches d'eau glaciaire), de chutes de blocs, de crues torrentielles dans le contexte fragile de l'économie de montagne, entre agropastoralisme et tourisme hivernal.

Réduire l'impact des catastrophes naturelles est un objectif qui fait bien sûr consensus. Face à des événements climatiques qui pourraient, compte tenu du changement climatique, se renforcer et se répéter de plus en plus souvent, la politique de prévention fait plus que jamais sens, comme une composante de l'adaptation. Il s'agit d'une politique de long terme, déjà mise en œuvre concrètement dans de nombreux territoires, mais qui doit se renforcer. Les grandes lignes qui se dégagent sont les suivantes :

- conforter et mobiliser les outils mis en place, toujours plus et plus efficacement, en maintenant une logique de priorisation sur les territoires les plus exposés ;
- identifier les leviers complémentaires nécessaires – notamment en termes de réduction de la vulnérabilité ;

- structurer et donner toute sa place à la mise à jour de la connaissance de l'évolution des phénomènes pour ajuster ces outils régulièrement ou construire les plans d'action adaptés.

- *Enjeux des Solutions fondées sur la Nature pour la prévention des risques naturels*

Bien que la terminologie « Solutions fondées sur la Nature » peine encore à s'imposer dans la sphère des acteurs de la gestion des catastrophes naturelles, les pratiques locales comme les orientations stratégiques nationales en matière de prévention s'appuient depuis longtemps sur une philosophie de préservation des espaces naturels. La prise en compte des risques naturels dans les documents d'urbanisme qui se traduit souvent par la désignation de zones d'inconstructibilité des milieux les plus exposés et les moins construits, de même que certains dispositifs de réduction des aléas naturels (dépoldérisation, reméandrage⁸, réouverture de rivière busée...), en sont quelques illustrations.

Malgré certaines limites, la mobilisation des Solutions fondées sur la Nature (SfN) en matière de prévention des catastrophes naturelles offre des avantages importants. Par leur caractère multifonctionnel, celles-ci induisent en effet des co-bénéfices de différentes natures : réduction de risques multiples (étiage et inondations, par exemple), aménités urbaines et paysagères, synergies dans les réponses aux réglementations en vigueur en Europe (directive inondation et directive-cadre sur l'eau), conciliation des objectifs d'atténuation et d'adaptation au changement climatique...

Les développements qui suivent s'attachent à présenter la prise en compte des écosystèmes dans les outils nationaux de la gestion des risques d'inondation. Cette intégration pourrait être considérée à certains égards comme relevant des SfN.

- *Les Solutions fondées sur la Nature dans la Stratégie nationale de gestion des risques d'inondation et les plans de gestion des risques d'inondation*

La politique de gestion des risques d'inondation est encadrée au niveau national par la Stratégie nationale de gestion des risques d'inondation⁹ (SNGRI). La SNGRI a été arrêtée par les ministres de l'environnement, de l'intérieur, de l'agriculture et du logement le 7 octobre 2014.

Dans une perspective de synergie des politiques publiques, la SNGRI reconnaît le fait que la protection des écosystèmes peut fortement contribuer à la réduction des risques d'inondation et inversement. La gestion du risque inondation gagnerait ainsi à s'appuyer sur les SfN.

8. Le reméandrage consiste à remettre le cours d'eau dans ses anciens méandres ou à créer un nouveau tracé avec des profils en travers variés pour redonner au cours d'eau une morphologie sinueuse se rapprochant de son style fluvial naturel. (Source : Agence française pour la biodiversité).

9. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/prevention-des-inondations#e4>

Ainsi, la préservation stricte des zones d'expansion des crues en milieu non urbanisé, des zones humides et des massifs dunaires sur le littoral constitue un des principes généraux relatifs à l'aménagement des zones à risques d'inondation issus de l'objectif « Augmenter la sécurité des populations exposées » de la SNGRI.

En déclinaison de la SNGRI, des plans de gestion des risques d'inondation¹⁰ (PGRI) ont été arrêtés par l'État fin 2015 dans chaque grand bassin hydrographique (Seine-Normandie, Loire-Bretagne, Rhône-Méditerranée...). Ces documents fixent les « règles du jeu » applicables dans chacun de ces grands bassins en matière de prévention des risques d'inondation. Les SCoT (et, en l'absence de SCoT, les PLU et les cartes communales), les programmes et décisions administratives dans le domaine de l'eau (autorisations environnementales, SAGE, PAPI...) doivent être compatibles ou rendus compatibles avec les PGRI. Les PGRI ont donc une portée juridique importante.

Les PGRI peuvent ainsi rappeler et préciser les principes fixés par la SNGRI selon des dispositions propres à chaque bassin relatives à :

- la notion de zone d'expansion des crues ;
- les conditions liées à l'identification de ces zones (ex. : dans le cadre ultérieur de la réalisation des Stratégies locales de gestion des risques d'inondation (SLGRI), des documents d'urbanisme, des PPRN...);
- les conditions de préservation de ces zones (conditions de compensation hydraulique en cas de projets stratégiques sans alternative, de recherche d'alternatives, de limitation des nouveaux ouvrages de protection et des remblais...) et la promotion de leur reconquête ;
- l'identification cartographique de secteurs prioritaires où les enjeux de lutte contre les inondations sur les territoires à risque important d'inondation (TRI) et les enjeux de restauration physique des milieux aquatiques (opérations de restauration morphologique ou de l'équilibre sédimentaire identifiées au programme de mesures) convergent fortement...

Par ailleurs, les objectifs des PGRI sont déclinés au sein de SLGRI pour les TRI¹¹. Ces SLGRI sont élaborées conjointement par les parties intéressées et arrêtées par l'État.

Par exemple, la SLGRI de la métropole francilienne, approuvée le 2 décembre 2016, prévoit un certain nombre d'actions visant le recensement, la préservation voire la restauration des zones d'expansion des crues et des zones humides.

10. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/prevention-des-inondations#e7>

11. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/prevention-des-inondations#e6>

● *Des acteurs majeurs de la prévention des inondations et de la préservation des milieux humides : les « gémapiens »*

Depuis le 1^{er} janvier 2018, les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) à fiscalité propre disposent de la compétence de gestion des milieux aquatiques et de prévention des inondations¹² (« Gémapi »).

Pour mémoire, les quatre items de la Gémapi sont les suivants¹³ : 1) l'aménagement d'un bassin ou d'une fraction de bassin hydrographique ; 2) l'entretien et l'aménagement d'un cours d'eau, canal, lac ou plan d'eau, y compris les accès à ce cours d'eau, à ce canal, à ce lac ou à ce plan d'eau ; 5) la défense contre les inondations et contre la mer ; 8) la protection et la restauration des sites, des écosystèmes aquatiques et des zones humides ainsi que des formations boisées riveraines.

La mise en œuvre de cette réforme concentre dans les mains du bloc communal des compétences auparavant morcelées. Celui-ci peut ainsi concilier urbanisme (meilleure intégration du risque d'inondation et de la préservation des milieux humides dans l'aménagement de son territoire et dans les documents d'urbanisme), prévention des inondations et gestion des milieux aquatiques.

La mise en œuvre de la Gémapi doit permettre de clarifier les responsabilités locales et d'assurer la cohérence de l'action locale en favorisant les synergies entre les politiques publiques mentionnées ci-dessus. Elle doit favoriser des approches territoriales mobilisant les fonctionnalités naturelles des milieux humides.

Par construction, la Gémapi a donc pris acte de la profonde interdépendance entre les fonctionnalités des milieux humides et la gestion des risques d'inondation.

● *Les Solutions fondées sur la Nature dans le Fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM)*

Le déploiement des Sfn pour la prévention des risques naturels est aujourd'hui largement soutenu financièrement par le Fonds de prévention des risques naturels majeurs¹⁴ (FPRNM dit « Fonds Barnier »). Alimenté par un prélèvement de 12 % sur le produit des primes ou cotisations additionnelles relatives à la garantie contre le risque de catastrophes naturelles, le FPRNM crée *de facto* un lien particulier entre la prévention et l'indemnisation, au sein duquel le système assurantiel finance la prévention pour constituer un dispositif sans équivalent en Europe. Initialement mis en place en 1995 par la loi n° 95-101 du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement pour faire face aux dépenses

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

13. Article L. 211-7, I *bis* du Code de l'environnement : « Les communes sont compétentes en matière de gestion des milieux aquatiques et de prévention des inondations. Cette compétence comprend les missions définies aux 1°, 2°, 5° et 8° du I. »

14. <https://www.banquedesterritoires.fr/prevention-des-risques-naturels-majeurs-comment-utiliser-les-credits-du-fonds-barnier>

liées aux expropriations de biens exposés à certains risques naturels menaçant gravement des vies humaines, le FPRNM a vu tout à la fois ses ressources et son champ d'intervention s'accroître progressivement depuis vingt ans. Véritable « colonne vertébrale » de la politique de prévention des risques naturels, le FPRNM est devenu un dispositif central de la réduction des risques naturels en France. Depuis 1995, plus de 2 milliards d'euros ont ainsi été délégués, finançant de l'ordre de 900 opérations par an en moyenne sur les cinq dernières années, et ce dans un cadre d'instruction de plus en plus exigeant.

Piloté par les ministères en charge de l'écologie et des finances et géré comptablement et financièrement par CCR, le FPRNM finance plus particulièrement les mesures suivantes, assimilables pour partie seulement à des SfN :

- les plans de préventions des risques naturels¹⁵ (PPRN) ;
- la déconstruction de biens quand elle vise le rétablissement des fonctionnalités d'une zone naturelle d'expansion de crue ;
- certaines actions de l'Axe 6 des programmes d'actions de prévention des inondations (PAPI), relatif à la gestion des écoulements.

Pour autant, la mise en œuvre des SfN n'est pas exempte de difficultés. La première d'entre elles est sans aucun doute ce qui fait également sa force. La multifonctionnalité des SfN constitue tout à la fois un avantage et un obstacle à leur déploiement. Car une multiplicité d'objectifs renvoie à une multiplicité de politiques publiques, de sources de financement, de réglementations, de périmètres géographiques, d'acteurs et de gouvernance c'est-à-dire à un enchevêtrement complexe de procédures et de responsabilités.

La seconde tient au manque d'évaluations dont on dispose pour objectiver l'intérêt des SfN dans toutes leurs dimensions. Même si des efforts sont conduits en la matière sur les mesures spécifiques au ralentissement des écoulements dans le domaine de la prévention des inondations (obligations d'analyse coût/bénéfice pour les opérations de ralentissement des écoulements les plus coûteuses depuis 2011), l'efficacité des SfN en règle général en matière de prévention des risques naturels demeure largement méconnue. La réalisation de progrès dans ce domaine pourrait permettre non seulement d'asseoir davantage ce type de solutions dans le paysage de la prévention des risques naturels mais aussi d'ouvrir des perspectives dans un domaine en cours d'émergence, celui de la valeur (au sens le plus large) des écosystèmes.

• *Les Solutions fondées sur la Nature dans les programmes d'actions de prévention des inondations (PAPI)*

Les PAPI sont des programmes portés par les collectivités locales. Ils sont composés essentiellement d'un diagnostic vis-à-vis des risques d'inondation, d'une stratégie et d'un programme d'actions concrètes. Ils sont labellisés par les instances de bassin (projets inférieurs à 3 M € HT) ou par la Commission mixte inondation

15. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/prevention-des-risques-naturels#e1>

(CMi). Leur labellisation permet aux collectivités de bénéficier des subventions du FPRNM (et du Programme 181 pour ce qui concerne l'animation des PAPI).

Pour être éligibles au FPRNM, les travaux ou aménagements prévus dans le PAPI doivent notamment bénéficier à des communes couvertes par un Plan de prévention des risques naturels (PPRN) prescrit ou approuvé.

L'objet du PAPI est de réduire la vulnérabilité, au sens large, d'un territoire aux inondations. Cet objectif peut être atteint de différentes manières, notamment du point de vue des travaux et aménagements des axes 6 « Gestion des écoulements » et 7 « Gestion des ouvrages de protection hydrauliques ». La prise en compte des enjeux environnementaux dès l'élaboration du dossier de PAPI répond à trois grands types d'enjeux :

- de manière générale, inscrire le PAPI dans un projet de territoire intégrant de manière cohérente les différentes politiques publiques, dont l'aménagement du territoire et la préservation des milieux humides, ce qui est un gage de gestion durable des risques d'inondation et d'efficacité de l'action publique ;
- prendre en compte, dès l'amont, les fonctionnalités des milieux humides, sous deux aspects : mobilisation des milieux humides pour la prévention des risques d'inondation et limitation des impacts, sur ces milieux humides, des ouvrages prévus, le cas échéant, dans le PAPI et ;
- anticiper les exigences réglementaires concernant les autorisations environnementales ultérieures relatives aux travaux et aménagements prévus dans le PAPI, de manière notamment à faciliter la mise en œuvre de ces travaux.

Une note d'analyse environnementale insérée dans le dossier de PAPI permet de montrer comment ont été traités ces différents enjeux.

Le financement d'actions visant la restauration des fonctionnalités des milieux humides est possible sous les conditions suivantes :

- ces actions doivent s'inscrire dans le cadre d'un PAPI ;
- les bénéfices en termes de prévention des risques d'inondation de ces actions doivent être précisément identifiés et quantifiés. Les coûts liés à la réalisation de ces actions et les bénéfices associés ont vocation à être insérés dans une Analyse coût/bénéfice (ACB) (quand le montant de travaux des groupes d'opérations structurelles est compris entre 2 et 5 M € HT) ou une Analyse multicritères (AMC) (au-delà de 5 M € HT).

Par ailleurs, la note d'analyse environnementale susmentionnée permet de montrer comment le porteur du PAPI a tenu compte des milieux humides dans la définition des travaux (tels que systèmes d'endiguement, aménagements hydrauliques, renforcements de berges, etc.), en appliquant la séquence « éviter/réduire/compenser ».

Sous réserve d'éligibilité, ces travaux sont finançables au taux de 40% ou 50% par le FPRNM selon que les travaux bénéficient à des communes couvertes par un PPRN respectivement prescrit ou approuvé.

Encadré 7

Aide pour l'intégration des enjeux liés aux zones humides dans les PAPI

Un guide a été élaboré par le Cerema sous le pilotage de la DEB et de la DGPR : le guide *Recommandations pour la prise en compte des fonctionnalités des milieux humides dans une approche intégrée de la prévention des inondations*, (juin 2017). Ce guide est à destination des collectivités porteuses de projet. Il a pour but de les aider à intégrer l'enjeu des zones humides tout au long du processus d'élaboration de leur projet de prévention des inondations.

● Comment mieux intégrer les Solutions fondées sur la Nature à la politique de gestion des risques naturels ?

Les opérations susceptibles d'être rattachées au concept de SfN peuvent être diverses dans les PAPI : restauration de zones naturelles d'expansion des crues, de l'espace de bon fonctionnement d'un cours d'eau, des marais rétro littoraux, d'annexes hydrauliques, reméandrage de cours d'eau, suppression de seuils...

Ces actions ne relèvent toutefois pas forcément de la définition des SfN telle que donnée par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN). Une SfN au sens de l'UICN inclura, par exemple, l'exigence d'une démonstration *ex ante* de son intérêt pour la biodiversité, ainsi qu'un suivi et une évaluation *ex post* des effets pour la biodiversité, ce qui n'est pas exigé pour accéder au financement du FPRNM.

Il est, par ailleurs, souvent constaté une complémentarité entre les SfN et les solutions traditionnelles de génie civil. Par exemple, telle SfN aura un effet sur l'aléa inondation jusqu'à une période de retour trentennale. Si une protection est recherchée pour une plus grande période de retour, cette SfN pourra être couplée avec des interventions traditionnelles de génie civil. Cependant d'autres facteurs peuvent entrer en jeu et venir limiter l'impact de ce type de solution. Des contraintes locales peuvent jouer, telles que par exemple un contexte urbain très contraint qui conduit à l'utilisation de palplanches¹⁶ pour la protection d'enjeux proches du cours d'eau. La disponibilité du foncier peut également constituer un facteur limitant important.

16. Les palplanches sont des types de planches enfoncées dans la terre et s'enclenchant aux planches voisines pour former un obstacle à l'écoulement de l'eau. Les palplanches réclament peu d'espace pour leur mise en place, contrairement à des digues en terre par exemple.

De plus, le FPRNM ne finance que les dépenses d'investissement. Ainsi, les actions de gestion courante des milieux naturels ne sont pas finançables par ce fonds, alors que ces actions peuvent constituer des SfN.

Les SfN sont finançables par le FPRNM à condition que les avantages pour la gestion des inondations aient été quantifiés, par une modélisation hydraulique. Cette condition vise à s'assurer du respect de l'objet du FPRNM : la prévention des risques naturels. Le FPRNM n'a en effet pas vocation à financer les opérations liées à la biodiversité en tant que telle. Si les avantages pour la prévention des inondations ne sont pas quantifiables, d'autres sources de financement devront être recherchées (l'agence de l'eau, le département au titre des espaces naturels sensibles...).

Par ailleurs, si le montant des groupes d'opérations des axes 6 « Gestion des écoulements » et 7 « Gestion des ouvrages de protection » cohérentes d'un point de vue hydraulique, incluant des SfN, est au moins égal à 2 M€ HT, une ACB ou une AMC doit être réalisée. Ces outils ACB/AMC permettent de comparer les coûts et les bénéfices des opérations.

Dans le cas des ACB, les coûts et les bénéfices sont exprimés en euros. L'AMC, en sus des critères monétaires de l'ACB, exprime certains bénéfices au travers d'autres unités de mesure, telle que le « nombre évité moyen annuel » correspondant au nombre d'habitants sortis de la zone inondable grâce au projet.

Or ces coûts et ces bénéfices sont centrés sur l'objectif de prévention des inondations, et ce toujours pour respecter l'objet du FPRNM. Autrement dit, les services écosystémiques rendus par les SfN hors inondations (qualité de l'eau, gestion des étiages, usages récréatifs...) ne sont pas pris en compte par les outils ACB/AMC liés aux inondations, parce que la question qui se pose pour la labellisation d'un PAPI est celle du financement des actions par le FPRNM.

Il est donc possible d'imaginer des situations où une SfN présenterait une ACB/AMC négative (*i. e.* avec des bénéfices qui seraient inférieurs aux coûts, sous le seul aspect de l'inondation), mais dont les bénéfices, tous services écosystémiques confondus, dépasseraient les coûts, démontrant ainsi l'intérêt global de l'opération pour la société.

On comprend donc tout l'intérêt qu'il pourrait y avoir à disposer d'outils permettant d'objectiver les différents services écosystémiques rendus par les SfN pour les promouvoir auprès des maîtres d'ouvrage et des financeurs potentiels.

Il convient toutefois de relativiser ce qui vient d'être présenté concernant les ACB/AMC liées aux inondations. Les labellisations de PAPI effectuées depuis 2011 montrent en effet que la CMi s'est montrée ouverte à la prise en compte des autres services écosystémiques en tant qu'élément d'appréciation pour la labellisation, en complément avec les résultats de l'éventuelle ACB/AMC, étant entendu que, dans tous les cas, l'opération concernée doit montrer des avantages quantifiables pour la prévention des inondations au travers d'une modélisation hydraulique.

Études de cas

Restauration de la Viredonne et du Dardaillon (Occitanie)

Justine Delangue,
Comité français de l'UICN

Le changement climatique a des conséquences sur les précipitations, notamment une diminution des pluies en période estivale et une augmentation des pluies de forte intensité en automne (« épisodes cévenoles »¹⁷), en hiver et au printemps.

En agissant comme des espaces tampons qui stockent les excès d'eau, des écosystèmes en bon état permettent de réduire l'exposition au risque accru d'inondation. En effet la préservation d'écosystèmes fonctionnels permet l'infiltration de l'eau directement dans le sol et son stockage dans les nappes phréatiques. La restauration de zones humides et de champs d'expansion de crues contribue ainsi à réguler les inondations et protéger les ressources en eau lors de sécheresses. La restauration de cours d'eau (reméandrage, suppression de seuils...) permet quant à elle de limiter les impacts des crues en laissant l'espace nécessaire au cours d'eau pour l'expansion des crues et donc le ralentissement de la vitesse de l'eau.

La restauration de deux cours d'eau, la Viredonne et le Dardaillon, en Occitanie en 2010 constitue ainsi une Solution fondée sur la Nature (SfN).

Face à la dégradation de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques du bassin de l'Or et du fait de fortes pluies automnales pouvant engendrer des inondations, le département de l'Hérault et les intercommunalités concernées, regroupés en Syndicat mixte du bassin de l'Or (Symbo), se sont mobilisés pour engager une démarche de contrat de bassin de l'or (2015-2019). Parmi les objectifs de ce dernier figure la réhabilitation des cours d'eau du bassin-versant. Les acteurs du territoire ont réalisé des travaux de renaturation de la Viredonne et du Dardaillon entre 2016 et 2018 sous maîtrise d'ouvrage du Syndicat intercommunal d'assainissement des terres de l'étang de l'Or, avec l'appui du Symbo. Au cours des années 1960 à 1980, ces cours d'eau avaient fait l'objet de lourds travaux d'aménagement hydraulique, comme le recalibrage, souvent accompagné d'endiguements étroits. Vingt-huit sites différents, 10 km de cours d'eau et 10 hectares de zones humides ont fait l'objet de travaux de renaturation.

17. L'expression « épisodes cévenoles » est communément employée pour caractériser tout épisode apportant des pluies diluviennes (plus de 200 mm en 24 heures) sur les régions méridionales. Trois à six fois par an en moyenne, de violents systèmes orageux apportent des précipitations intenses sur les régions méditerranéennes. L'équivalent de plusieurs mois de précipitations tombe alors en seulement quelques heures ou quelques jours. Les épisodes méditerranéens sont liés à des remontées d'air chaud, humide et instable en provenance de Méditerranée qui peuvent générer des orages violents parfois stationnaires. Ils se produisent de façon privilégiée en automne, moment où la mer est la plus chaude, ce qui favorise une forte évaporation. (Source : Météo-France).

Selon les secteurs, les travaux ont consisté en :

- une approche légère avec replantation d'une végétation rivulaire¹⁸ adaptée sur les berges ;
- une approche plus ambitieuse consistant à déplacer le lit du cours d'eau pour lui redonner un faciès plus naturel avec diversification des écoulements et connexion avec des zones humides.

Ces actions devraient permettre un étalement des crues et un soutien d'étiage (meilleure restitution d'eau en période sèche) et contribuent donc une solution pour la gestion de l'eau du territoire. Elles constituent une SfN car elles apportent également des bénéfices pour la biodiversité. En effet, le projet permet une augmentation de la capacité d'accueil pour les espèces par la création de zones humides (libellules et amphibiens déjà observés) et contribue à améliorer la fonctionnalité des milieux, notamment les processus de transport/dépôt de sédiments au sein du cours d'eau.

Les collectivités territoriales et les Solutions fondées sur la Nature : des pratiques nouvelles pour réduire les impacts des risques d'inondation

**Stéphanie Bidault
et Anne-Laure Moreau,**

Centre européen de prévention
du risque d'inondation (CEPRI)

Les chiffres de la vulnérabilité du territoire national au risque inondation¹⁹ sont d'ores et déjà sans appel : 17 millions de personnes potentiellement soumises au risque de débordement de cours d'eau (soit 1 habitant sur 4 et 1 emploi sur 3) et 1,4 million de personnes potentiellement soumises au risque de submersion marine. Plus de 9 millions d'emplois seraient ainsi exposés aux débordements de cours d'eau et plus de 850 000 exposés aux submersions marines. Enfin, 20% des habitations exposées aux submersions marines sont des constructions de plain-pied, ce qui les rend particulièrement vulnérables. En 2010, lors de la tempête Xynthia, plusieurs personnes sont décédées faute d'avoir pu se réfugier à l'étage de leur habitation en attendant les secours, ou d'avoir pu sortir par le toit de leur maison. Cette évaluation ne comptabilise pas les personnes impactées par le risque de ruissellement, lequel concernerait plus de 70% des communes

18. La végétation rivulaire est un type de végétation spécifique au milieu des rivières et des berges. Elle est également appelée ripisylve. Une ripisylve est une formation végétale qui se développe sur les bords des cours d'eau ou des plans d'eau situés dans la zone frontière entre l'eau et la terre (écotones). Elle est constituée de peuplements particuliers en raison de la présence d'eau sur des périodes plus ou moins longues : saules, aulnes, frênes en bordure, érables et ormes en hauteur, chênes pédonculés et charmes sur le haut des berges.

19. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2012), Première évaluation nationale des risques d'inondation – Principaux résultats – EPRI 2011.

françaises. Ainsi, alors que ces chiffres peuvent paraître alarmistes car reposant sur des estimations volontairement extensives²⁰, ils montrent indiscutablement une très forte exposition du territoire national au risque d'inondation. Ce dernier devrait encore augmenter dans les années et décennies à venir, en France et en Europe. Cela est dû d'une part au développement socio-économique attendu dans les zones à risques et d'autre part aux effets du changement climatique : augmentation de la fréquence et de l'intensité des extrêmes hydrologiques combinée, pour ce qui concerne le littoral, à l'augmentation du niveau de la mer ainsi qu'à l'aggravation de l'érosion des côtes. Le coût des dommages assurés pour les seules inondations fluviales (16 milliards d'euros sur la période 1988-2013) passerait à 34 milliards d'euros sur la période 2014-2039 selon les projections des assureurs.

Malgré un dispositif législatif et réglementaire important dans le domaine de la prévention et de la gestion des risques, des événements extrêmes récents (inondations de mai-juin 2016 dans les régions Centre et Île-de-France), ont mis en lumière la persistance de difficultés rencontrées par l'État et les collectivités territoriales. La stratégie nationale de gestion du risque ciblée sur l'aléa et la limitation de l'urbanisation en zone inondable, sans être inefficace, gagnerait sans doute à être renforcée pour contenir les conséquences négatives des inondations qui pourraient être aggravées par le changement climatique.

La référence au génie écologique existe depuis longtemps dans le champ d'action des collectivités territoriales. Les gestionnaires de milieux font appel au génie écologique quand leur objectif est d'augmenter la biodiversité, de la stabiliser ou de stopper son déclin. En effet, certains processus naturels disparaissent et l'intervention humaine peut parfois pallier ce manque et empêcher la disparition de certains milieux, de certaines espèces. Des milieux naturels aux espaces urbains en passant par les surfaces agricoles, l'ingénieur écologue préconise, en lien avec les usages, les interventions à réaliser pour favoriser la biodiversité et contribuer à réduire le risque d'inondation : préservation ou réhabilitation des zones humides ; maintien en état ouvert par broyage, fauche ou débroussaillage, en fonction des communautés végétales présentes ; gestion différenciée pour diversifier les milieux ou conserver la diversité existante ; plantation de haies pour limiter le risque de ruissellement, restauration du lit mineur d'un cours d'eau ou d'une plaine d'inondation, de ripisylve, réhabilitation ou préservation de cordon dunaire pour limiter le risque de submersion marine...

20. Il s'agit d'estimations des inondations potentielles.

● *Gérer les eaux pluviales pour limiter le risque de ruissellement*

L'adaptation au changement climatique amène à réfléchir et à concevoir sur le long terme des villes et des territoires de façon différente. Dans le domaine de la gestion des risques d'inondation, l'adaptation au changement climatique peut passer notamment par le fait de donner ou redonner davantage de place à l'eau dans la conception d'un projet d'aménagement du territoire et prendre diverses formes : la création d'espaces récréatifs inondables, la remise à ciel ouvert des cours d'eau, le développement de liaisons douces le long des cours d'eau, l'amélioration de la gestion des eaux pluviales ou la gestion alternative de ces eaux (favoriser l'infiltration à la parcelle, limiter l'imperméabilisation, limiter les rejets dans les cours d'eau...). C'est sur ce principe que la zone d'aménagement concerté des docks de Saint-Ouen inclut un ensemble d'aménagements favorisant l'infiltration et le stockage des eaux pluviales au sein d'un secteur de 100 hectares. Le quartier comprend la réalisation de toitures-terrasses végétalisées sur chaque îlot, permettant ainsi la collecte et le stockage de 30 % à 50 % des eaux de pluie. Un système de noues évacue ensuite les eaux pluviales vers un réseau hydraulique composé d'un bassin d'environ 13 000 m³ et d'un parc de 12 hectares comprenant 1,2 hectare de jardins filtrants et de zones humides. Le projet devrait permettre de limiter les ruissellements en cas de pluies d'occurrence 20 à 50 ans²¹.

● *Redonner plus de place à la rivière*

Concernant le débordement de cours d'eau, certains territoires ont fait le choix de redonner plus de place à la rivière en la renaturant entièrement ou en partie. C'est le cas par exemple sur plusieurs tronçons du territoire du Grand Chambéry, où des aménagements ont été réalisés pour limiter le débordement de la Leysse et de l'Albanne. En particulier sur la zone de confluence, la renaturation de ces deux cours d'eau devrait permettre de protéger le centre-ville de Chambéry contre la crue centennale. Sur le secteur de la confluence entre les rivières Leysse et Hyères, d'autres travaux visent à restaurer le cours de la Leysse canalisée : consolidation et recul de digues, élargissement de la rivière, diversification des habitats aquatiques et restitution d'un corridor écologique notamment.

Le Syndicat intercommunal pour l'assainissement de la vallée de la Bièvre (SIAVB) mène quant à lui une politique de gestion durable de la rivière à la fois en matière de gestion des crues, de qualité de l'eau et d'entretien de la Bièvre²². À travers le contrat de bassin Bièvre Amont qui s'est achevé fin 2018, l'objectif était d'effectuer une renaturation complète de la rivière (voir figure F5) et ce notamment

21. ASTEE, 2018.

22. La Bièvre est une petite rivière urbaine subissant une forte pression urbaine.



Figure F5 – Renaturation de la Bièvre entre Igny et Bièvres (2019).

© SIAVB.

dans le cadre de l'objectif d'atteinte du bon état des eaux de la directive-cadre sur l'eau (DCE)²³.

L'analyse de différents projets d'aménagement, en France et en Europe, montre que des initiatives émergent, à différentes échelles. Ces exemples de collaborations réussies entre acteurs en charge de la gestion des cours d'eau et ceux de l'aménagement sont porteurs de nouveaux modes de gouvernance, au service de la conception d'un projet de territoire plus résilient face au risque d'inondation. Toutes ces initiatives ne seront pas caractérisées comme SfN mais s'en rapprochent, participant à des politiques plus vertueuses au regard de la préservation de la biodiversité.

● *Limiter les risques sur les secteurs littoraux*

D'autres projets voient le jour sur le littoral et mobilisent le rôle des dunes pour se protéger des submersions marines tout en redonnant une place à la nature. Sur le territoire de la commune du Grau du Roi, des cordons dunaires ont été réhabilités à la pointe de l'Espiguette. Sur l'île d'Oléron, certaines dunes ont joué le rôle de « barrières » pendant la tempête Xynthia en 2010. Dans le cadre du PAPI (labellisé en 2012, ayant fait l'objet d'un avenant en 2017), une étude concernant les aménagements de protections douces sur les sites de la Brée-les-Bains

23. La directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, communément appelée directive-cadre sur l'eau ou DCE, vise au « maintien et à l'amélioration de l'environnement aquatique de la Communauté ». Il s'agit notamment pour les États-membres de l'Union européenne d'atteindre et de maintenir un bon état des eaux de surfaces et souterraines, défini en termes qualitatif et quantitatif, écologique et chimique.

et de la digue de la Gautrelle figure dans les actions de réduction de la vulnérabilité. Elle a pour objectif de définir des solutions globales et pérennes pour la protection de ces secteurs vis-à-vis de l'érosion côtière et des submersions marines en testant plusieurs scénarios dont celui des « solutions douces » avec le rechargement en sable ou encore le recul stratégique des enjeux.

● *Une combinaison de solutions dans le cadre des PAPI*

Le contrat de rivière « Yzeron vif » porté depuis 2002 par le Syndicat mixte d'aménagement et de gestion de l'Yzeron, du Ratier et du Charbonnières (SAGYRC) et prolongé par un PAPI en 2013 prévoyait la réduction des risques d'inondation à travers la réalisation de deux actions principales : la construction de barrages d'écêtement des crues à l'amont et l'élargissement et l'endiguement du cours d'eau à l'aval. Les travaux d'élargissement du lit ont conduit à une reconstitution et à une renaturation du lit mineur de l'Yzeron et de ses affluents sur un linéaire de 4,5 km, avec notamment la suppression d'un tronçon bétonné sur plus d'1 kilomètre à Oullins et la suppression d'une double voie de circulation pour élargir l'Yzeron à Sainte-Foy-les-Lyon, ainsi que l'effacement d'obstacles transversaux et des modifications de berges en enrochement au profit de techniques végétales (voir figure F6). Le programme d'aménagement très ambitieux contenu dans ce PAPI combine donc à la fois des actions dites « d'ingénierie classique » et des actions de renaturation de la rivière, visant à redonner plus de place à l'eau et à la nature en général.



Figure F6 – La rivière Yzeron a fait l'objet d'un programme de travaux de déconstruction d'ouvrages urbains et de renaturation de son lit mineur.

© CAUE Florent Perroud, mai 2018.

Le PAPI de la Brévenne et de la Turdine comprend plusieurs aménagements des cours d'eau pour leur redonner un aspect plus naturel, à travers la restauration de la Zone d'expansion des crues (ZEC) dans des zones avec peu d'enjeux. Par exemple, la restauration hydraulique et écologique de la zone du Bigout (voir figure F7), qui consiste en un remodelage du lit, ainsi qu'une suppression des protections de berges et des digues, un aménagement de la zone d'expansion des crues grâce à la délocalisation de deux habitations, d'une brocante et de jardins ouvriers. Sur le secteur de la confluence entre la Brévenne et la Turdine, ce sont la suppression de l'usine et le reprofilage des berges qui ont été réalisés, pour permettre à la Brévenne de déborder dans cette zone.

Sur le territoire de l'Isère amont, le Syndicat mixte des bassins hydrauliques de l'Isère (SYMBHI), porte un PAPI qui comprend à la fois des actions de renforcement des systèmes d'endiguement, mais également des actions de restauration de milieux naturels associés. Le projet Romanche Séchilienne, dont le SYMBHI est maître de l'ouvrage, a plusieurs objectifs : protéger les zones urbanisées et urbanisables contre la crue centennale de la Romanche, avec la prise en compte du risque des ruines de Séchilienne ; valoriser d'un point de vue environnemental les milieux liés à la rivière, et réaliser une intégration paysagère du projet tout en développant les loisirs associés aux berges et à l'eau. Plusieurs aménagements visant à laisser plus de place à la rivière figurent dans le projet comme la



Figure F7 – La zone du Bigout après travaux.

© Syndicat de rivières Brévenne Turdine (SYRIBT), 2019.

connexion d'anciens bras morts de rivières et de plans d'eau, la création d'une forêt alluviale de 250 ha, le recul voire l'effacement de digues (6 km de digues reculées et 10 km de digues effacées), la réhabilitation d'anciennes gravières sous forme de plans d'eau réaménagés et d'un réseau de mares...

Dans ces différents exemples de territoires, les actions menées dans le cadre du PAPI tendent à concilier des mesures d'ingénierie classique avec des mesures d'ingénierie écologique dans le but de réduire l'aléa inondation et l'exposition des populations et des biens face au risque d'inondation.

Les impacts du changement climatique apportent des réflexions nouvelles dans le domaine de la prévention et de la gestion des risques. De nombreux territoires devront muter pour faire face à des risques que le changement climatique rendra plus fréquents et plus intenses. Les PAPI et les stratégies locales de gestion du risque inondation sont en ce sens des outils de gouvernance intéressants sur lesquels s'appuyer pour amener tous les acteurs concernés à partager un diagnostic de vulnérabilité et à réfléchir collectivement à des stratégies d'adaptation de leurs territoires aux impacts du changement climatique. Aussi devant répondre à de nouveaux défis sociétaux (impacts du changement climatique, demande accrue d'amélioration du cadre de vie et notamment d'accès aux espaces naturels) et confrontées à un contexte de contraintes budgétaires, certaines collectivités territoriales sont amenées à privilégier des solutions à bénéfices multiples telles que les SfN et notamment le recours au génie écologique.

Alors que le passage du « lutter contre » au « vivre avec » semble une stratégie inévitable au vu des contraintes environnementales et financières qui s'imposent aux collectivités territoriales, la politique de prévention et de gestion des risques d'inondation actuelle mérite d'être interrogée à la lumière de la Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations (Gemapi). Le regroupement en une seule compétence de la gestion des milieux aquatiques et de la prévention des risques d'une part et la concentration de cette compétence entre les mains d'un même acteur (établissements publics de coopération intercommunale à fiscalité propre) depuis le 1^{er} janvier 2018 d'autre part pourraient se révéler une aubaine pour les SfN mais appellent également à une certaine vigilance.

Cette nouvelle compétence pourrait favoriser plus de transversalité dans la manière de prendre en charge les enjeux, voire d'orienter la prévention des risques vers des SfN sous l'impulsion des pratiques de gestion des milieux aquatiques. Cependant, l'inverse pourrait également se produire, faisant prévaloir la vision et les pratiques de protection contre les inondations sur celles de la gestion des milieux aquatiques.

La recherche d'équilibre semble d'autant plus opportune que le cloisonnement des politiques publiques rend difficile la construction d'une vision systémique des enjeux locaux pour les collectivités territoriales. Le concept de SfN, très englobant, invite justement à une mise en œuvre conjointe de plusieurs enjeux (biodiversité, eau, climat, risques...) et pourra se révéler utile pour penser la transversalité.

Cependant, des difficultés d'appropriation du concept et de traduction en des projets concrets sont perceptibles dans de nombreux territoires. C'est pourquoi il semble nécessaire de continuer à faire la preuve de l'intérêt des SfN en mettant à l'honneur les projets innovants des collectivités qui expérimentent déjà ce type de solutions et en évaluant plus systématiquement les politiques publiques.

En tout état de cause, les études de cas présentées précédemment montrent la volonté de bon nombre de collectivités territoriales de se saisir des enjeux de gestion des risques d'inondation et d'adaptation au changement climatique en privilégiant des actions à bénéfices multiples telles que les SfN.

Chapitre G

Gestion de la forêt

© Arnaud Bouissou/Terra.



Connaissances

Le génie écologique au service de la gestion des dunes

Loïc Gouguet,

Office national des forêts (ONF)

Les dunes littorales sont naturellement façonnées par le sable, le vent et les plantes. Le vent déplace le sable de la plage et de la dune et l'emporte vers l'arrière-pays où les plantes, en freinant sa vitesse, le forcent à déposer le sable qu'il transporte. Leurs formes, leurs dimensions, leurs positions même, varient sans cesse ; la dune littorale est mobile par essence.

En France, quand elles appartiennent à l'État, les dunes littorales sont gérées par l'Office national des forêts (ONF). Ainsi, 380 km de linéaire côtier métropolitain, recouvrant 90 000 ha, sont gérés selon une approche dite souple, basée sur le génie écologique utilisant les processus naturels qui ont façonné les dunes : le sable, le vent, la végétation.

Cette approche est loin d'être nouvelle puisque dès le début du ^{xix}^e siècle, quand il s'est agi de protéger les pins maritimes nouvellement semés en Aquitaine, les ingénieurs des Ponts et Chaussées puis ceux des Eaux et Forêts, prédécesseurs de ceux de l'ONF, ont rehaussé la dune littorale en utilisant des palissades de bois pour accumuler le sable au plus près de la mer, puis ont planté des oyats pour fixer ce sable. Nos techniques actuelles ne font que perpétuer, en les affinant, ces actions basées sur l'observation et l'imitation des processus naturels.

À l'heure où les effets du changement global commencent à se faire sentir, où les prévisions du GIEC montrent que l'érosion des côtes se fera plus rapide, les submersions plus fréquentes, les dunes littorales, véritables pièges à sable naturels souples et mobiles, méritent une attention accrue. En ce qu'elles constituent un stock de sable mobilisable par la mer au moment des tempêtes, elles sont le rempart le plus efficace contre l'érosion marine. Par leur altitude, ces barrières naturelles potentiellement résilientes protègent les espaces bas situés en arrière d'elles contre les submersions. La gestion souple pratiquée par l'ONF est sans nul doute l'approche la plus viable à long terme, la plus adaptable et la moins coûteuse de toutes.

Le changement climatique affecte également les dunes boisées. Sécheresses, modification des peuplements, problèmes phytosanitaires, sont quelques-uns des effets visibles sur les milieux forestiers. Nous ne développerons pas ces questions, auxquelles l'ONF est pourtant confronté et travaille à apporter des réponses, pour nous concentrer sur la gestion des dunes non boisées.

La gestion souple pratiquée par l'ONF s'appuie sur trois grands principes : retenir le sable près de sa source, protéger les écosystèmes atténuateurs de l'érosion, accompagner la mobilité.

- *Fixer le sable au plus près de sa source*

Lors de la transgression marine dite « flandrienne » qui a débuté il y a 19 000 ans, la fonte des glaces a entraîné une élévation du niveau marin de près de 120 mètres. Cette modification majeure s'est accompagnée d'une remontée des nombreux sédiments déposés par les fleuves sur le plateau continental lors des maxima glaciaires, et ces sédiments se sont accumulés sur une zone côtière qui coïncide plus ou moins au tracé actuel de nos côtes.

Ces stocks de sédiments ont été ensuite remaniés au cours des évolutions climatiques que subissaient nos littoraux, les dynamiques de végétation étant conditionnées aux climats successifs.

Lors du Petit Âge glaciaire, période climatique froide survenue approximativement du début du ^{xiv}^e à la fin du ^{xix}^e siècle en Europe et en Amérique du Nord, le niveau abaissé de l'océan a permis la mobilisation de sédiments, et donc de nouveau l'apport à la côte de quantités de sable très importantes. Les chroniques de la fin du ^{xviii}^e siècle regorgent d'exemples d'églises, de villages, ensevelis par le sable des dunes sur la côte atlantique lors de tempêtes. Au début du ^{xix}^e siècle, pour assainir les territoires marécageux dont l'avancée des dunes mobiles entraînait les écoulements naturels tout en engloutissant des territoires, l'État, dans un souci de développement, a organisé la fixation d'une grande partie des dunes littorales de la côte atlantique. Cette action concerna principalement les dunes situées entre le sud de la Bretagne et la frontière espagnole. D'autres massifs dunaires, plus au nord, le long de la presqu'île du Cotentin par exemple, bénéficiaient d'une dynamique végétale naturelle permettant le développement d'une végétation fixatrice suffisante.

À proximité du rivage, dans les régions à fort transit sableux (Aquitaine, Charente), pour se prémunir de l'envahissement par le sable, les dunes bordières – toujours alimentées par la plage – furent transformées en un cordon continu calibré selon un profil à versant au vent de faible pente, véritable piège à sable édifié au plus près de l'océan. Des systèmes de palissades en bois qui étaient régulièrement remontées au fur et à mesure de leur ensablement permirent de constituer un bourrelet sableux plus ou moins élevé, plus ou moins large. Il convenait de planter ce cordon avec des végétaux adaptés à ces milieux salés, mobiles et ventés : l'oyat (*Ammophila arenaria*) se révéla l'espèce pionnière la plus adaptée et la plus facilement bouturable pour fixer les dunes. Cette graminée, qui peut développer des rhizomes sur plusieurs mètres de longueur, supporte très bien l'ensablement et sa partie aérienne est parfaitement protégée contre le mitrailage des grains de sable.



Figure G1 – Plantation d’oyats en quinconce pour fixer le sable.

© Loïc Gouguet, Office national des forêts.

Plus à l’intérieur des terres, les techniques utilisées pour fixer les sables reprirent les expérimentations que le chanoine Desbief avait présentées en 1774 à la Société académique de Bordeaux. Pour immobiliser les sables, il proposait de favoriser la végétation : après avoir semé des graines de pins, de genêts et d’ajoncs, il avait étendu tout simplement sur le sol des branches d’arbres, qu’il fixait au moyen d’un crochet de bois enfoncé dans les sables. Les graines semées sous ces abris avaient germé aussitôt. Tout était dit, c’était le début de la longue histoire de la fixation des dunes.

Toutes ces techniques permirent la création d’un paysage original, de la dune non boisée à la forêt (essentiellement constituée de pins maritimes), paysage protégeant les territoires des invasions sableuses, et support d’activités humaines basées sur la production de bois, bien sûr, mais avant tout basées, jusque dans les années 1950, sur l’exploitation de la résine de pin, le gemmage.

● *De la protection des territoires à la conservation des écosystèmes*

Au ^{xx}e siècle, et plus particulièrement dans sa deuxième moitié, l’explosion du tourisme balnéaire a fait passer les zones littorales du « vide » au « trop plein » : l’occupation du littoral s’est « approchée » au plus près de la mer, siège d’une économie

florissante et objet d'une demande sociétale forte. Mais la zone côtière, notamment sur les littoraux sableux, est mouvante par définition.

Les cordons dunaires, après avoir souffert d'un manque d'entretien entre 1914 et 1945 furent de nouveaux l'objet de travaux d'envergure, souvent sous la forme d'un « remodelage mécanique » cette fois-ci et il fallut attendre la fin des années 1970 pour que cet « idéal théorique » dunaire soit abandonné progressivement au profit d'une gestion plus durable favorisant des dunes semi-naturelles (plantation d'oyats, couvertures de branchages, filets brise vent), plus complexes et variées sur un plan écologique.

En collaboration avec les scientifiques, et en réponse à la préoccupation grandissante de la société envers la préservation de la biodiversité, l'ONF, qui se voit confier par le ministère en charge des forêts la mission d'intérêt général de contrôle de l'érosion éolienne sur les dunes domaniales, va alors formaliser le mode de gestion dit du « contrôle souple ».

Cette méthode vise à utiliser les processus naturels (vent, dynamique végétale...) pour piéger le sable.

Les savoir-faire de base sont ceux qui permettent de réguler la capacité érosive du vent en réduisant sa vitesse, en facilitant son écoulement et en augmentant la cohésion de la couche superficielle du « sol » dunaire.

Les techniques les plus répandues sont de quatre types : les couvertures de débris végétaux, les brise-vents, les plantations et les modelages. Dans tous les cas on s'appuie sur la tendance naturelle des obstacles meubles à prendre un profil aérodynamique et on cherche à faciliter la colonisation végétale naturelle. En effet, la flore et sa couverture au sol – élément fort du patrimoine biologique – sont aussi le principal outil de contrôle de la dynamique dunaire et d'évaluation de l'état du milieu.

Les couvertures de débris végétaux : les deux types les plus répandus sont les couvertures planes de branchages fins (buissons de Genêt, de Bruyère à balais...) étalés manuellement et les couvertures mécaniques de gros branchages (pin maritime, chêne vert...). Cette technique crée des conditions favorables à la végétalisation par piégeage de graines, augmentation de la rétention d'eau et apport d'éléments minéraux et organiques.

Les brise-vents : ce sont des obstacles verticaux de perméabilité et de hauteur variable. Ils réduisent la vitesse du vent à proximité du sol, ce qui limite la déflation et provoque le dépôt du sédiment transporté. Le mode d'implantation le plus efficace est une succession de rideaux parallèles, perpendiculairement aux vents dominants. Il peut s'agir de barrières en lattes de châtaignier (les ganivelles), ou de filets en fibre végétale.

Les plantations : sur les dunes régulièrement entretenues et ne subissant pas une fréquentation excessive, la dynamique naturelle suffit en général pour assurer



Figure G2 – Plantation d’oyats, filets brise-vent et couvertures de genêts.

© Loïc Gougnet, Office national des forêts.

une couverture végétale satisfaisante en recouvrement et en diversité. En dehors des chantiers de réhabilitation, les surfaces plantées sont peu étendues.

Le nombre de végétaux utilisés est réduit, la principale espèce est l’Oyat (le Gourbet des Aquitains), poacée (graminée) cespiteuse dotée de fortes adaptations au milieu : très grande résistance à l’ensablement par émission de rhizomes au fur et à mesure de son recouvrement, long et dense réseau racinaire, tolérance au mitraillage et à une salinité modérée...

D’autres végétaux indigènes peuvent être plantés ou semés sur les dunes, des essais fructueux ont été faits avec l’Armoise des champs (*Artemisia campestris*), l’Immortelle des dunes (*Helichrysum stoechas*)... Cependant, c’est le chiendent des sables (*Agropyron junceum*) qui a connu le plus grand développement au cours de la période récente. Cette graminée caractéristique des avant-dunes, très résistante à la salinité, est donc mieux adaptée que l’Oyat en pied de versant externe des cordons dunaires.

Les modelages : la suppression de touffes relictuelles de végétation permet d’éviter les trop fortes turbulences dues au vent, et va ainsi permettre au sable de se répartir de façon aérodynamique pour reconstituer un profil dunaire souhaité.

Grâce à une connaissance fine des processus et des sites gérés, à des techniques rustiques, économes et fiables, et à des interventions d’entretien répétées, l’ONF

met en œuvre cette gestion qui respecte les processus naturels et vise à remplir simultanément plusieurs fonctions :

- protéger l'arrière-pays en évitant les invasions sableuses ;
- conserver des écosystèmes rares et originaux, paysages et lieux de vie recherchés, les dunes « grises » par exemple sont un habitat prioritaire de la directive européenne « Habitat, faune et flore » ;
- participer à un accueil touristique raisonné ;
- modérer l'érosion marine (le sable stocké dans l'avant-dune nourrit la plage pendant les phases d'érosion) ;
- constituer un premier rideau d'absorption de l'énergie des houles et éventuellement une zone d'expansion face aux submersions marines, pour protéger les zones basses rétro-littorales.

Les milieux ainsi gérés, selon un principe favorisant les mosaïques d'habitats, sont mieux à même de réagir et d'assurer une résilience forte face aux aléas littoraux (érosion marine, submersion...). Les sites dunaires constituent des éco-complexes résultants d'une évolution biologique vieille de plus de 5 000 ans. La biodiversité y étant considérable, les gestionnaires doivent tout mettre en œuvre pour protéger les éléments les plus remarquables de notre patrimoine naturel collectif. La connaissance des particularités biologiques des milieux dunaires doit permettre, dans le cadre d'une gestion durable, d'assurer une meilleure conservation de ces espaces.

● *Une prise de conscience des nouveaux risques au début du xx^e siècle*

Depuis le milieu du xx^e siècle, les apports de sable s'amenuisent : cette pénurie sédimentaire est due à l'épuisement des stocks sous-marins mobilisables et aux modifications apportées par l'homme dans le transport des sédiments par les fleuves (barrages, extractions, ouvrages). Les cordons dunaires subissent également l'augmentation de la pression des évolutions sociales (déprise agricole, essor démographique et touristique...), qui amènent une multiplication des enjeux sur les côtes : infrastructures, urbanisation...

L'intensité et la fréquence des multiples tempêtes de la fin du xx^e et du début du xxi^e siècle (tempêtes Lothar, Martin, Klaus, Xynthia...) ont fait prendre conscience aux populations vivant près de la mer que les aléas littoraux pouvaient menacer bon nombre de biens imprudemment implantés trop près du littoral. Les dunes, avec leur capacité d'adaptation aux forçages météo marins, peuvent être des espaces tampons permettant une adaptation naturelle (ou accompagnée par le gestionnaire) aux évolutions inéluctables des espaces littoraux.

En général, les réponses apportées en matière de gestion du trait de côte sont différentes selon les situations et les enjeux, et différentes options peuvent être retenues :

- libre évolution des terrains littoraux ;
- accompagnement des processus naturels ;
- organisation du repli stratégique ;
- maintien du trait de côte en réalisant des ouvrages de défense côtière.



Figure G3 – Construits sur le sommet de la dune durant la Seconde Guerre mondiale, les blockhaus basculant sur la plage sont des témoins incontestables du recul du cordon dunaire.

© Loïc Gouguet, Office national des forêts.

Traditionnellement, même face à des enjeux faibles, la réponse apportée presque systématiquement consistait à « durcir » le trait de côte par des ouvrages, offrant une protection onéreuse et toute relative. Bien entendu, les solutions dépendent de la complexité des situations et des échelles de temps considérées.

En ce qui concerne les dunes domaniales, la politique adoptée mise sur le choix de la souplesse, qui implique la possibilité de translation vers l'intérieur des terres en cas d'érosion marine chronique. Ce recul éventuel peut se faire sans dommages si la largeur des espaces naturels d'arrière-dune est suffisante. Cette solution, même envisageable dans des secteurs où le cordon bordier est très réduit, peut permettre de redonner de la largeur au système dunaire et l'aider à mieux remplir son rôle de piège à sable.

Les SfN demeurent des réponses moins coûteuses pour la collectivité nationale, adaptables, et sources de biodiversité. Face à des aléas inéluctables (érosion marine notamment), une gestion raisonnée des milieux dunaires permet de mettre en œuvre progressivement une adaptation du territoire, en concertation avec les populations. En accompagnant la dynamique naturelle, le contrôle souple doit favoriser la conscience du risque puisqu'il ne masque pas les effets des processus naturels inévitables.

La gestion dunaire doit toutefois s'appuyer sur une maîtrise du foncier, car il est nécessaire de pouvoir disposer d'espaces d'accommodation pour organiser un recul maîtrisé des dunes. C'est à ce prix que les écosystèmes peuvent s'adapter.

Simple, basée sur la connaissance des écosystèmes de référence préalablement établis, cette technique favorise cette mosaïque paysagère, comprenant les différents stades évolutifs, qui donne aux dunes domaniales une meilleure résilience face aux perturbations (naturelles ou anthropiques) et qui génère des paysages attractifs et variés.

● *Les dunes à l'épreuve du changement climatique*

À la rencontre entre la terre et la mer, le littoral est soumis aux aléas naturels du territoire dans lequel il s'inscrit. Il s'agit principalement de l'érosion du trait de côte, l'ensablement ou la submersion marine, liés aux événements météorologiques (tempête, cyclone, forte dépression et vent de mer) ou océanographiques (houle, marée, tsunami) d'ampleur très inhabituelle.

Les modifications générales telles que l'augmentation des températures moyennes, la potentielle augmentation des événements extrêmes (vagues de chaleur...) entraîneront une nécessaire adaptation des écosystèmes forestiers et dunaires littoraux.

Parmi les effets constatés et futurs liés au changement climatique, les dunes non boisées sont et seront impactées à plusieurs titres :

- L'aggravation des phénomènes d'érosion marine liée à l'évolution des événements extrêmes et à l'augmentation du niveau marin moyen va entraîner une perte de surface de terrains, mais également une reprise de l'érosion éolienne sur les littoraux sableux. Le contrôle de la végétalisation des cordons dunaires sera donc primordial pour éviter la remise en mouvement brutale des stocks de sable, menaçant l'arrière-pays (constitué en partie de forêts littorales).
- Les risques de submersion des zones basses seront augmentés. On assiste déjà, lors de tempêtes, à l'envahissement de peuplements forestiers par la mer dans certaines îles du centre Atlantique (Oléron et Noirmoutier en particulier).
- L'élévation du niveau de l'océan pourra aussi se traduire par une remontée de la nappe d'eau salée dans les massifs dunaires, entraînant des dépérissements de la végétation fixatrice en place.

Face à ces défis, les techniques éprouvées basées sur le génie écologique sont susceptibles de permettre l'adaptation des écosystèmes aux évolutions prévisibles sans compromettre leur adaptation aux conditions futures encore inconnues.

Les gestionnaires devront donc faire preuve de beaucoup d'observation et de pragmatisme pour maintenir la succession la plus complète des habitats dunaires, en suivant les évolutions des milieux naturels, et aussi d'humilité en acceptant parfois de perdre temporairement des faciès durant la translation inéluctable des cordons littoraux.

Politiques publiques

La forêt comme Solution fondée sur la Nature pour l'adaptation au changement climatique

**Florian Claeys, Milène Gentils,
Flore Sancey et Elisabeth Van de Maele,**
ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (MAA)

La forêt, lorsqu'elle est gérée de manière durable et multifonctionnelle, peut constituer une solution d'adaptation au changement climatique fondée sur la nature. Et inversement, la forêt qui est elle-même impactée par le changement climatique doit s'adapter afin de continuer à fournir cette multitude de services écosystémiques qui permettent de faire face au changement climatique.

Le changement climatique pose de nombreux défis spécifiques à la forêt, essentiellement face aux échelles de temps. Le renouvellement de la forêt se mesure en effet sur le temps long, 50 à 100 ans, et même plus pour certains arbres. Dans un contexte d'incertitudes liées au changement climatique et combinées avec l'échelle de temps spécifique à la gestion forestière, les propriétaires et les gestionnaires sont confrontés à de nombreux défis : avec quelles essences et de quelles provenances renouveler les peuplements ? selon quelles densités garantissant la meilleure résilience aux stress hydrique et aux tempêtes ? Pour quelle durée de rotation les conduire eu égard à l'exposition aux risques ?

Les travaux de R&D sur l'adaptation des forêts au changement climatique ont beaucoup progressé tout en identifiant de nouveaux enjeux environnementaux, sylvicoles, économiques et sociaux. Les réponses de la science et de la technique forestière sont complexes, et dépendent elles-mêmes de divers scénarios d'évolution climatique incertains. L'absence de recommandations sans équivoque peut se traduire par une inquiétude des acteurs ou un fatalisme, peu propices à l'anticipation.

● *La mise en réseau des compétences forestières*

Dans un tel contexte, le Réseau mixte technologique AFORCE¹ qui vient de fêter ses dix ans est plus que jamais le lieu d'échanges et de collaborations entre gestionnaires, chercheurs, enseignants, pour œuvrer au transfert des résultats de la recherche et des expérimentations mais aussi pour mieux prioriser la recherche sur les questions et besoins des opérateurs et décideurs forestiers. L'enjeu aujourd'hui est d'aller sur le terrain au plus proche de la décision forestière avec des outils intégrant les connaissances acquises, tout en poursuivant et en mutualisant les

1. <https://www.reseau-aforce.fr/>

expérimentations dans le temps long. Associer les propriétaires à la démultiplication de ces expérimentations par des dispositifs de tests en gestion d'essences, de provenances, d'itinéraires sylvicoles pourra rendre chacun acteur de l'observation et des changements de pratiques à construire et à évaluer.

C'est sur cette structure d'animation et sur les experts de divers horizons qui lui apportent leurs connaissances, en constante évolution, que s'appuie l'Action 2 du Plan d'action interministériel forêt bois annoncé en novembre 2018 : « Favoriser le transfert des résultats de recherche expérimentation sur l'adaptation des forêts au changement climatique ».

Depuis 2018 et jusqu'en 2020, le RMT AFORCE porte par exemple le projet ESPERENSE. Il s'agit d'un projet de création d'un réseau expérimental multi-organismes chargé d'identifier et de tester de nouvelles ressources génétiques permettant la résilience des forêts aux impacts du changement climatique. Le Centre national de la propriété forestière (CNPF), l'Institut européen de la forêt (EFI), l'Institut technologique forêt, cellulose, bois-construction, ameublement (FCBA), l'Institut national de la recherche agronomique (INRA), l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA) et l'Office national des forêts (ONF) en sont les partenaires. Les objectifs et enjeux du projet sont les suivants :

- améliorer la connaissance sur le comportement des essences et provenances ;
- apporter un cadre global à l'expérimentation de nouvelles essences et provenances ;
- mettre en place un partenariat durable autour de ces expérimentations.

Quatre principaux résultats sont attendus après 2020 dans ce projet :

- poser les fondements d'un réseau d'expérimentations pour l'évaluation des essences et provenances (cadre global du réseau, essences et provenances à évaluer, protocoles pour différents types de tests) ;
- définir les systèmes forestiers à enjeu de production de bois et considérés comme vulnérables au changement climatique ;
- un cahier des charges pour la mise en place d'une plateforme d'échanges multipartenaires permettant le partage des données et métadonnées d'expérimentation, s'appuyant sur les bases de données existantes ;
- formalisation d'un consortium multipartenaires autour du réseau.

● *La gestion durable et multifonctionnelle des forêts comme Solution fondée sur la Nature pour l'adaptation au changement climatique*

La politique forestière française déclinée dans le Programme national de la forêt et du bois² pour une période de dix ans (PNFB 2016-2026) soutient une gestion durable et multifonctionnelle des forêts, permettant de concilier les enjeux économiques, environnementaux et sociaux. Le PNFB 2016-2026 définit la gestion

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

durable comme « la gérance et l'utilisation des forêts et des terrains boisés, d'une manière et à une intensité telles qu'elles maintiennent leur diversité biologique, leur productivité, leur capacité de régénération, leur vitalité et leur capacité à satisfaire, actuellement et pour le futur, les fonctions écologiques, économiques et sociales pertinentes aux niveaux local, national et mondial ; et qu'elles ne causent pas de préjudices à d'autres écosystèmes ».

Pour valoriser le patrimoine forestier, notamment la ressource forestière en bois, tout en pérennisant et en assurant la multifonctionnalité des forêts, une attention particulière est accordée à la préservation de la biodiversité et des habitats, la qualité des sols et de l'eau, l'amélioration des capacités d'accueil du public, la protection contre les risques naturels, et la conservation de la qualité des paysages et des richesses culturelles.

Cette gestion des forêts françaises permet ainsi de préserver ou valoriser de manière pérenne le bouquet de services écosystémiques rendus par la forêt, services qui confèrent un rôle protecteur de la forêt face au changement climatique : régulation du cycle de l'eau, régulation thermique, protection des sols, etc.

Le PNFB est décliné en programmes et schémas régionaux qui adaptent la politique forestière nationale aux spécificités de chaque région, et tout acte de gestion sylvicole (toutes les forêts publiques, et toutes les forêts privées au-delà de 25 ha) mis en œuvre sur un territoire doit être obligatoirement inscrit dans un document de gestion durable conforme à ces plans régionaux. Ces documents de gestion définissent un programme de coupes et travaux sylvicoles garantissant une gestion durable et multifonctionnelle de la forêt.

La gestion multifonctionnelle des forêts, spécifique à la France, peut être ainsi considérée comme une Solution fondée sur la Nature (SfN) pour l'adaptation au changement climatique (voir exemples ci-dessous).

Maintenir un état boisé en montagne, une Solution fondée sur la Nature pour limiter les départs d'avalanches dans les zones à risque (voir figure G4)

En stabilisant et ancrant le manteau neigeux, la forêt joue un rôle protecteur pour réduire les risques d'avalanche en montagne dans la partie basse de leur occurrence (1 700-1 800 m d'altitude).

Le changement climatique entraîne une remontée de la limite pluie/neige et donc un risque de déclenchement des avalanches humides en montagne à plus haute altitude. Toutefois, la forêt française a également déjà commencé à s'adapter à l'augmentation de température liée au changement climatique avec une migration des résineux plus en altitude. La fonction protectrice de la forêt devrait ainsi permettre, à terme, de limiter les départs d'avalanche plus hauts en altitude.

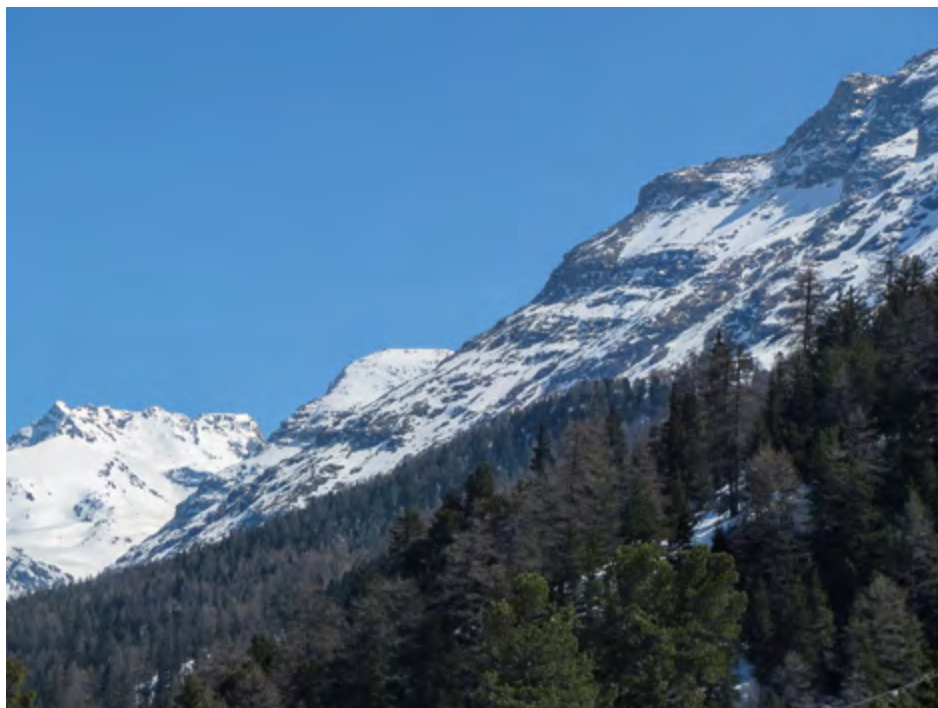


Figure G4 – Limite supérieure de la forêt à Val-Cenis (Savoie).

© Pierre Bouillon, ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.

Améliorer la cohésion des horizons de surface grâce à l'enracinement des arbres, une Solution fondée sur la Nature pour réduire l'érosion et les glissements de terrain en montagne

Le changement climatique peut entraîner une augmentation des précipitations à certaines périodes de l'année, qui peuvent accentuer les phénomènes d'érosion et de glissement de terrain en altitude. Le phénomène d'érosion combine la dégradation des couches superficielles des sols (couches riches en matières organiques, allant jusqu'à 2 m de profondeur environ) et le déplacement des matériaux les constituant : on peut citer par exemple l'arrachement des particules fines en surface des sols à la suite des impacts des gouttes de pluies, le ruissellement superficiel qui mobilise ces particules fines, ou encore la concentration locale des eaux qui peut entraîner des incisions des terrains par ravinement et ainsi entraîner une couche de matériaux plus grossiers³, etc.

Utiliser l'écosystème forestier, et notamment l'enracinement profond des arbres, permet de réduire les glissements de terrain en renforçant la cohésion des couches superficielles du sol et stabilisant ainsi les versants (hormis contextes géologiques

3. Vennetier M., Ladier J. et Rey. F., (2014).

particuliers). Les feuilles des arbres peuvent par exemple réduire l'énergie cinétique des gouttes de pluie en interceptant une partie de ces gouttes avant qu'elles n'impactent le sol et la plus forte porosité du sol, due aux racines, entraîne une meilleure infiltration de l'eau limitant ainsi le ruissellement en surface, etc.

Mettre en place une gestion multifonctionnelle des forêts dunaires, solution fondée sur la nature pour lutter contre l'érosion

Le changement climatique entraîne une élévation du niveau de la mer qui risque de déclencher des submersions marines en zone côtière de plus en plus fréquentes et intenses. Les dunes permettent de dissiper l'énergie de la mer et limiter l'impact de l'érosion des côtes. Elles contribuent, avec les forêts littorales situées en arrière, à la protection des populations et des activités économiques, notamment par le contrôle de l'érosion éolienne. Réhabiliter ou maintenir ces dunes et ces forêts littorales dunaires par une gestion durable et multifonctionnelle est une SfN pour s'adapter aux impacts du changement climatique en zone littorale⁴.

Mettre en place une gestion préventive des forêts, une Solution fondée sur la Nature pour lutter contre les incendies

Le changement climatique risque d'augmenter l'occurrence des incendies de forêt en région méditerranéenne, et l'aire géographique soumise à ce risque s'étendra vraisemblablement vers le nord de l'Europe et plus en altitude.

Des forêts non gérées seront moins résilientes au risque d'incendie que des forêts gérées de manière durable et multifonctionnelle. Les infrastructures telles que les dessertes forestières (routes forestières, places de dépôts...) participent à la lutte contre les incendies tout en permettant l'exploitation des bois : en effet, les dessertes permettent aux professionnels de gérer la forêt dans de bonnes conditions (en limitant par exemple le tassement des sols avec de nombreux passages de façon anarchique) tout en offrant plus d'efficacité dans la surveillance du massif et une meilleure sécurité d'accès en cas d'incendie.

Préserver les ripisylves, une Solution fondée sur la Nature pour la protection des berges des cours d'eau

Hormis certains contextes particuliers en sols sableux, les ripisylves⁵ jouent un rôle de stabilisation des bordures des cours d'eau, limitent leur érosion et assurent également des services écosystémiques telles que l'épuration des eaux, la fourniture d'habitats piscicoles, la fourniture de bois, etc. Elles permettent également de réguler les crues des cours d'eau, crues qui risquent de voir leur régime bouleversé avec le changement climatique et qui risquent donc d'accentuer l'altération des berges des cours d'eau.

4. Voir «Le génie écologique au service de la gestion des dunes», *supra*.

5. Une ripisylve est une formation végétale qui se développe sur les bords des cours d'eau ou des plans d'eau situés dans la zone frontière entre l'eau et la terre.

● *La gestion durable et multifonctionnelle de la forêt, une Solution fondée sur la Nature qui doit également être adaptée au changement climatique*

Des modifications progressives des écosystèmes forestiers sont observées en lien avec l'évolution actuelle du climat, et de nombreux paramètres des milieux sont susceptibles de varier tels que :

- les cycles de développement des arbres, avec par exemple des floraisons et germinations qui ont avancé en moyenne de trois jours par décennie au cours des cinquante dernières années en région tempérée ;
- la répartition géographique des espèces forestières selon les températures et les contraintes d'alimentation en eau, avec par exemple une installation des espèces plus au nord ou plus en altitude ;
- l'affaiblissement de certains peuplements, qui deviennent plus sensibles aux attaques d'insectes ravageurs et aux pathogènes (exemple du développement actuel alarmant des scolytes dans les peuplements d'épicéas dans l'Est de la France) ; etc.

La forêt est donc directement impactée par le changement climatique et il est essentiel pour les forestiers d'adapter leur gestion au changement climatique, pour préserver les services rendus par la forêt et pour pouvoir continuer à utiliser les écosystèmes forestiers comme des SfN pour répondre à divers enjeux de société.

Pour diminuer ces incertitudes face au changement climatique, un des objectifs du PNFB 2016-2026 est d'inciter les forestiers à « adopter des sylvicultures adaptatives et plus dynamiques » : préserver une diversité génétique des massifs forestiers, introduire progressivement des essences adaptées aux changements constatés pour augmenter la résilience des forêts, choisir des essences diversifiées à rotations plus rapide, etc.



Figure G5 – Pins maritimes de la forêt des Landes de Gascogne.

© Xavier Remongin/agriculture.gouv.fr

Étude de cas

Réouverture des milieux pour réduire les risques d'incendies dans le Parc naturel régional des Alpilles (Bouches-du-Rhône)

Justine Delangue,

Comité français de l'UICN

Le changement climatique en région méditerranéenne risque de s'accompagner d'une aggravation des phénomènes de canicule, et d'une sécheresse estivale accrue à l'origine d'une augmentation de la fréquence et de la gravité des incendies de forêts. En réponse à cette menace, la restauration des écosystèmes et notamment la restauration et la gestion durable d'une mosaïque de milieux ouverts au sein des massifs forestiers permet de diminuer les risques tout en apportant des bénéfices pour la biodiversité.

À titre d'exemple, le Parc naturel régional des Alpilles a mis en place un projet LIFE⁶ pour favoriser la réouverture des milieux et réduire les risques d'incendies.

Les conséquences du changement climatique aggravent la sensibilité de ce territoire déjà fortement vulnérable aux incendies du fait des campagnes d'enrésinement des ^{xix}^e et ^{xx}^e siècles. Ces dernières ont entraîné le remplacement des collines méditerranéennes recouvertes de garrigues et de pelouses sèches, par des pinèdes très inflammables. Promouvoir la gestion de ces collines méditerranéennes par le pastoralisme permettrait la réouverture des milieux sous l'égide d'un équilibre homme-nature, garant d'une riche biodiversité méditerranéenne inféodée à ces paysages en mosaïques. Le Parc naturel régional des Alpilles a donc pour objectif de rouvrir et gérer plusieurs centaines d'hectares de forêts par le pastoralisme afin de diminuer la vulnérabilité du territoire aux feux de forêts.

Une large concertation avec les acteurs locaux (propriétaires et élus, acteurs forestiers et de la protection de l'environnement et agriculteurs) a permis d'identifier les zones les plus propices à la mise en gestion traditionnelle de mosaïques ouvertes favorables à la biodiversité. Après avoir débroussaillé les zones choisies collectivement, les activités de pastoralisme permettent de maintenir les milieux ouverts. Ces travaux de réouverture ont eu lieu sur plusieurs communes et ont permis de restaurer les habitats naturels de treize espèces d'oiseaux d'intérêt communautaire. Dans le cadre du projet LIFE, 170 ha ont été ré-ouverts en 2016 et des conventions de gestion par le pâturage ont été signées avec une vingtaine d'éleveurs.

En plus des travaux effectués de débroussaillage et de mise en gestion pastorale, un important travail est mené pour adapter les documents d'aménagement

6. <http://www.mouries.fr/Vivre-a-Mouries/La-Mairie/Le-Parc-Naturel-Regional-des-Alpilles/Programme-LIFE-des-Alpilles>

forestier (des forêts communales et des forêts privées) aux enjeux de gestion de la biodiversité et de la prévention des incendies.

Un dispositif de suivi de l'impact de ces actions sur la biodiversité est en cours.

Chapitre H

Agriculture et élevage

Aline Boy,

ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation

© Laurent Mignaux/Terra.



Politiques publiques

La mobilisation des Solutions fondées sur la Nature en agriculture, à travers l'agro-écologie et l'agroforesterie

La transition agro-écologique permet de répondre aux nombreux défis auxquels fait face l'agriculture, dont son adaptation au changement climatique. Depuis 2012, le ministère en charge de l'agriculture porte le projet agro-écologique pour la France, qui s'est traduit dès 2014 par un plan d'actions élaboré avec les partenaires, prenant également appui sur des plans thématiques (réduction des produits phytosanitaires, de l'utilisation des antibiotiques, valorisation de l'azote organique et promotion de la méthanisation...). Les différents outils mis en place visent à soutenir la transition agro-écologique des exploitations agricoles françaises à travers la mobilisation des aides de la Politique agricole commune (PAC) (aides à la culture de protéagineux, aides à l'investissement...), par l'engagement des acteurs du développement agricole (dont les chambres d'agriculture) qui les accompagnent dans leur transition et la mobilisation des filières ainsi que la réorientation de la recherche. Ces mesures ciblent la transition agro-écologique mais pas explicitement la mise en œuvre de Solutions fondées sur la Nature (SfN) en agriculture.

Néanmoins des outils du projet agro-écologique peuvent être actionnés pour la mise en place de SfN en agriculture.

La PAC, dans son deuxième pilier, propose des mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC) qui accompagnent les projets d'agriculteurs sur cinq ans. Certaines sont à cadre national, comme les mesures d'accompagnement à la conversion ou au maintien de l'agriculture biologique, d'autres sont mises en place par les régions au vu des problématiques locales. Ces mesures visent par exemple le maintien de zones humides ou de prairies sensibles ou à riche flore, la préservation d'espaces agricoles favorables à certaines espèces (outarde canepetière, grand hamster d'Alsace...), l'implantation et la préservation d'éléments fixes du paysage (murets, points d'eau, arbres...).

Les aides de la PAC sont aussi conditionnées au respect de règlements européens (non-destruction d'habitats remarquables, réglementation nitrates...) et au maintien des bonnes conditions agricoles et environnementales (bande tampon le long des cours d'eau, couverture minimale des sols, maintien des particularités topographiques...), c'est la conditionnalité des aides PAC. La promotion de systèmes plus diversifiés vise à accompagner les exploitations dans l'adaptation au changement climatique.

Le projet agro-écologique soutient les collectifs d'agriculteurs engagés dans la transition. En effet, pour les agriculteurs, inscrire son projet d'évolution dans un groupe a de multiples avantages : le groupe permet de se rassurer, d'échanger et d'expérimenter à plusieurs en réduisant les coûts et les risques, d'inscrire son projet dans son contexte et son territoire...

La loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt d'octobre 2014 a ainsi créé les groupes d'intérêt économique et environnemental (GIEE). Les GIEE sont des collectifs d'agriculteurs reconnus par l'État qui s'engagent dans un projet pluriannuel de modification ou de consolidation de leurs pratiques en visant à la fois des objectifs économiques, environnementaux et sociaux. Au 1^{er} janvier 2019, plus de 500 GIEE ont été reconnus par l'échelon régional. Une partie d'entre eux bénéficie d'accompagnement financier pour l'animation du groupe. En effet, cette nouvelle forme de développement agricole modifie le contour du métier de conseiller qui n'apporte plus une recette mais accompagne le collectif dans sa réflexion, l'aide à construire son projet et à le mettre en œuvre. Les GIEE mettent également à disposition des autres agriculteurs leurs résultats, ils sont référencés sur le site giee.fr. Certains GIEE ont des projets qui s'approchent de SfN : utilisation de plantes locales pour réduire l'utilisation des herbicides, implantation d'infrastructures agro-écologiques pour favoriser les auxiliaires (qui luttent contre les ravageurs)...

Dans le cadre du Partenariat européen pour l'innovation (PEI) financé par la PAC et le programme européen de recherche, les groupes opérationnels (GO) sont constitués localement sur des thématiques précises, avec une diversité d'acteurs : agriculteurs, chercheurs, collectivités locales, associations environnementales, entreprises de l'aval. Cela permet la coconstruction de solutions adaptées localement et de sortir d'une approche descendante de la recherche.

Plus de deux tiers de ces projets en France sont orientés vers l'agro-écologie et la triple performance.

Le ministère en charge de l'agriculture a mis en œuvre un plan de développement de l'agroforesterie sur la période 2015-2020. La présence de l'arbre à l'intérieur des parcelles ou dans les haies qui les entourent permet de rendre les cultures plus résilientes aux impacts du changement climatique grâce aux multiples services écosystémiques qu'il fournit : enrichissement des sols, limitation du ruissellement de l'eau et de l'érosion, préservation de la biodiversité, régulations microclimatiques et hydriques...

Ce plan comporte cinq axes :

- Mieux connaître la diversité des systèmes agroforestiers et leur fonctionnement ; Un travail est conduit par l'IGN afin d'aboutir en fin d'année 2019 à un dispositif de suivi des bocages.
- Améliorer le cadre réglementaire et juridique et renforcer les appuis financiers ; Cette dernière année, ce sont les outils de la PAC qui sont mobilisés pour accompagner la présence d'arbres dans les parcelles. Une étude a également été menée pour clarifier les relations entre les propriétaires fonciers et les locaux agriculteurs quant au statut de l'arbre.
- Développer le conseil, la formation et la promotion de l'agroforesterie ; L'enseignement agricole initial a développé des modules sur l'agroforesterie, on constate également une amélioration de l'offre de formation continue des agriculteurs sur cette thématique et la présence de conseillers agroforestiers dans les départements s'est amplifiée.

- Améliorer la valorisation économique des productions de l'agroforesterie de manière durable ;

La place de l'agroforesterie dans les productions sous signe de qualité a été mise en valeur. Un label est en cours de développement : le label « bois bocager géré durablement »¹ porté par l'association AFAC existera en 2020, il vise à valoriser les produits des haies dans un contexte de demande de bois énergie et répondre à des demandes locales.

- Promouvoir et diffuser l'agroforesterie à l'international.

En 2019, c'est ainsi la France qui a accueilli en mai le congrès mondial de l'agroforesterie.

Le projet agro-écologique mobilise aussi fortement l'enseignement agricole qui est sous la responsabilité du ministère en charge de l'agriculture. En 2014 a été ainsi mis en place le plan enseignement à produire autrement, qui est renouvelé cette année. Intégrant tous les enjeux de la transition agro-écologique, il vise également à former les futurs agriculteurs ou conseillers à adapter les exploitations au changement climatique.

Ce plan s'est attaché à rénover les référentiels des diplômes, l'agro-écologie a ainsi été introduite dans les diplômes qui permettent de bénéficier des aides à l'installation et qui forment les futurs conseillers agricoles. Le travail en pluridisciplinarité entre enseignants s'est également développé. Un effort conséquent de formation des enseignants à ces nouvelles approches a été engagé.

Les établissements de formation agricole sont riches de leurs exploitations agricoles chargées de production, de pédagogie et d'expérimentation sur leur territoire. Ces exploitations ont été fortement engagées dans l'agro-écologie, en mobilisant les ressources des établissements, dont une participation croissante des élèves.

L'exploitation du lycée agricole d'Auzeville (Haute-Garonne) s'est ainsi engagée dans l'agro-écologie à travers trois pratiques qui s'appuient sur la biodiversité et qui permettent de s'adapter au changement climatique : allongement de la rotation et diversification de l'assolement², introduction des couverts végétaux adaptés à la culture produite et implantation d'infrastructures agro-écologique multi-espèces. La réforme du BTS « agronomie productions végétales » a permis d'impliquer les étudiants présents une journée par semaine sur le site pour expérimenter et suivre les essais menés en lien avec les préoccupations du territoire.

1. <https://afac-agroforesteries.fr/nos-projets-en-cours/certification-bois-agroforestier-gere-durablement/>

2. L'assolement correspond aux différents types de cultures réparties annuellement sur la Surface agricole utile (SAU) d'une exploitation. La diversification des assolements peut être conçue à l'échelle d'une parcelle avec la mise en place de culture associées ou à l'échelle d'un parcellaire avec une diversification des espèces et des familles cultivées. Grâce à la complémentarité des cultures associées, la diversification des assolements permet à la fois de limiter le développement des adventices, des ravageurs et des pathogènes (qui sont amenés à augmenter avec le changement climatique) et d'optimiser la fourniture d'azote via les espèces captatrices que sont les légumineuses. (Source : *Dictionnaire d'Agroécologie*).

Étude de cas

Des solutions fondées sur les agro-écosystèmes pour lutter contre la sécheresse et les inondations : l'exemple de l'agroforesterie et des prairies humides

• Les principaux impacts du changement climatique sur l'agriculture

Du fait du changement climatique, les agriculteurs voient apparaître de nouvelles périodes de sécheresse, le rythme, la fréquence des pluies et les quantités d'eau sont modifiées, les périodes de stress hydriques sont plus nombreuses. Différentes conséquences sont observées :

- changement de la pousse de l'herbe, souffrant plus durant l'été, entraînant un besoin d'affouragement durant cette saison, alors que les animaux sont à l'extérieur (et donc une consommation des stocks prévus pour l'hiver);
- stress des animaux durant les périodes sèches et chaudes (baisse de production, plus grande sensibilité sanitaire);
- modification dans le système de cultures face au stress hydrique, avec des dates de récoltes avancées;
- difficulté à maintenir la qualité attendue des produits (ex. : teneur en protéines des céréales, teneur en sucre du raisin supérieure à l'optimum de la fermentation...) et à respecter les cahiers des charges de produits sous signe de qualité (ex. : autonomie fourragère).

Les agriculteurs pratiquent alors des actions qu'on peut qualifier d'adaptation autonome ou spontanée³ pour faire face aux impacts du changement climatique. En effet, avec l'augmentation de la température liée au changement climatique, on constate en France une maturité plus précoce de certaines cultures comme le maïs et le blé et une avancée des dates de floraison des arbres fruitiers et des vendanges. En réponse à ce décalage temporel, les agriculteurs avancent donc également les dates de semis des céréales et de récolte des fruits et de vendanges⁴. Ils développent également différentes pratiques et outils pour s'adapter aux différents impacts du changement climatique, soit à travers des apports scientifiques et techniques, soit en constituant des réponses collectives d'adaptation locale, et potentiellement grâce à des mesures de soutien public.

C'est également le sens du projet agro-écologique porté par le ministère en charge de l'Agriculture qui vise la triple performance de l'agriculture française. Les principes clés sont : accroître la biodiversité fonctionnelle, renforcer les régulations biologiques et boucler les grands cycles. Les SfN peuvent donc être mobilisées pour s'engager dans la transition agro-écologique, qui vise également à répondre aux enjeux du changement climatique (résilience, nouvelles productions...).

3. L'adaptation autonome ou spontanée est une 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 (site Web Onerc).

4. Ces éléments ont été tirés des indicateurs de l'Onerc.

● *L'agroforesterie comme Solution d'adaptation fondée sur la Nature*

L'agroforesterie peut constituer une Solution d'adaptation fondée sur la Nature mobilisée dans certains systèmes agro-écologiques. Il s'agit de faire cohabiter les arbres et la production agricole, soit en intra-parcellaire soit en bord de champ (par les haies).

Le projet ARBEL⁵ soutenu par le Compte d'affectation spéciale de développement agricole et rural (CASDAR) a étudié entre 2014 et 2018 la pertinence des différentes pratiques agroforestières (haies, plantations intra-parcellaires, sylvopastoralisme) dans les systèmes d'élevage herbivores, notamment dans les aspects de production fourragère et de bien-être animal.

Les impacts des températures anormalement élevées sur les vaches laitières sont connus : problème de fertilité entraînant directement une diminution du nombre de veaux et indirectement une perte de production de lait et une perte de taux de matière grasse et protéique du lait (qui sont la base du prix du lait) et donc une baisse du revenu du producteur.

Le projet a montré que les arbres créaient un microclimat plus favorable en période de haute température ou de sécheresse pour les animaux (voir figure H1) : on observe ainsi une baisse pouvant aller jusqu'à 6°C sous les arbres en épisodes



Figure H1 – Élevage allaitant en prairie arborée.

© Xavier Remongin/agriculture.gouv.fr

5. <http://idele.fr/presse/publication/idelesolr/recommends/casdar-arbele-larbre-dans-les-exploitations-delevage-herbivore.html>

caniculaires. Les productions de l'arbre peuvent être également utilisées dans les rations animales, notamment lors des sécheresses de fin de printemps ou estivales. Il est souvent craint que la présence des arbres dans une prairie baisse la quantité de fourrages produits. Le projet a montré que la productivité de la prairie en présence d'arbres était maintenue, même si la répartition était différente, dépendante de la proximité des arbres.

- *Les prairies humides comme Solution d'adaptation fondée sur la Nature*

Les zones humides jouent un rôle important pour réduire les effets du changement climatique sur le cycle de l'eau (prévention des inondations, pouvoir épurateur...). Elles sont aussi un réservoir de biodiversité végétale et animale. Dans le domaine agricole, il s'agit d'éviter le retournement des prairies humides, car elles ont un rôle efficace de rétention d'eau et donc de prévention des inondations. D'après le rapport du Commissariat général au développement durable (CGDD) et du Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux (CGAAER) de 2017 «préservation de l'élevage extensif, gestionnaire des milieux humides», pour maintenir et entretenir ces prairies humides, l'activité économique agricole doit être maintenue sur ces sites. La prise en compte des enseignements de ce rapport a donné lieu à la mise en place d'une expérimentation de Mesure agro-environnementale (MAE) collective (financement par le deuxième pilier de la PAC) sur trois sites pilotes : la baie de Somme, les marais du Contentin et du Bessin et le marais du Brouage. Les agriculteurs de ces sites se sont constitués en collectif, porteur d'un projet innovant reposant sur une amélioration du système pâturant, la maîtrise du parasitisme, le primat de la qualité et la diversification des filières.

Chapitre I

Outils pour renforcer la mobilisation des Solutions fondées sur la Nature dans une perspective d'adaptation au changement climatique

© Arnaud Bouissou/Terra.



Évaluation socio-économique

Mieux évaluer les Solutions fondées sur la Nature : un enjeu pour un déploiement ambitieux

Yann Kervinio et Antonin Vergez,

Commissariat général au développement durable (CGDD),
ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES)

Objectif affiché dans les plans climat et biodiversité du Gouvernement français, un déploiement ambitieux de Solutions fondées sur la Nature (SfN) pour l'adaptation au changement climatique nécessite de lever des obstacles nombreux d'ordres technique¹, institutionnel², réglementaire³, économique et financier⁴. Dans cet article, nous précisons comment les démarches d'évaluation peuvent aussi constituer un obstacle ou, au contraire, comment une évaluation adaptée peut faciliter l'intégration, dans une juste mesure, de telles solutions dans l'adaptation des territoires au changement climatique. Notre propos concernera principalement l'obstacle financier dans la mesure où c'est sur les choix d'investissement et de financement que les méthodes d'évaluation qui seront discutées sont les plus influentes. Dans une moindre mesure, des obstacles technique et institutionnel seront aussi abordés.

Les SfN peuvent apparaître plus coûteuses ou risquées que des solutions artificielles, éprouvées et déjà visibles. S'il existe quelques exemples pour lesquelles les SfN se sont avérées moins coûteuses pour un effet équivalent⁵, les situations dans lesquelles ces solutions sont, ou plus coûteuses pour un impact similaire, ou plus incertaines concernant leur impact⁶ restent les plus répandues. Ce caractère incertain des SfN a principalement trois origines : 1) elles n'ont parfois que des effets à long terme ; 2) elles peuvent en plus être exposées au changement climatique (cas de certains peuplements forestiers⁷), lui-même d'intensité future incertaine, et ; 3) les fonctions des écosystèmes sur lesquelles elles

1. Le dimensionnement et l'évaluation de SfN reposent sur des connaissances (par exemple sur les capacités épuratoires des sols ou des zones humides) et des capacités de modélisation (par exemple, des impacts de la végétation dans les dynamiques hydro-sédimentaires derrière l'érosion du trait de côte (CGDD, 2018a) ou les phénomènes de crues) qui font encore largement défaut aux échelles pertinentes.

2. Les SfN peuvent nécessiter l'investissement de secteurs dans des domaines nouveaux et nécessiter des expertises interdisciplinaires rares dans le paysage académique.

3. La mise en œuvre des SfN peut être compromise par des exigences réglementaires existantes qui ont été pensées dans un cadre adapté aux solutions plus habituelles.

4. Par exemple, du fait des pratiques d'évaluations éclairant les choix d'investissement et en matière de finances publiques.

5. Voir par exemple, Narayan *et al.* (2016) sur la protection contre les risques côtiers.

6. Voir par exemple CGDD, (2018a).

7. Voir par exemple Onerc, (2015).

s'appuient sont complexes et requièrent des connaissances écologiques et des savoirs techniques qui font encore souvent défaut⁸.

Cependant, le déploiement de SfN pour l'adaptation des territoires au changement climatique présente de nombreux intérêts qui, pour être perçus et intégrés à la décision, supposent de faire évoluer les approches d'évaluation actuelles⁹.

● *Mieux évaluer les SfN à l'échelle des projets d'aménagement*

Tout d'abord, le déploiement de SfN s'accompagne de cobénéfices multiples, souvent non-marchands, ce qui complique les modèles économiques de leur mise en œuvre¹⁰. Lorsqu'ils sont mal perçus par certains décideurs ou évalués dans le cadre d'approches sectorielles trop étroites, ces cobénéfices peuvent être négligés et les enjeux associés délaissés. Or le caractère multifonctionnel de telles solutions est une force dans un contexte d'augmentation de la compétition des usages des terres. Pour ces raisons, la mise en œuvre de ces SfN pour l'adaptation des territoires au changement climatique requiert un effort conséquent d'intégration des cobénéfices aux dispositifs d'évaluation en vue de favoriser leur reconnaissance par les acteurs¹¹.

Parmi ces «cobénéfices» figure en particulier celui d'abriter une biodiversité, remarquable ou plus ordinaire, dont la valeur intrinsèque, qui n'est pas un bénéfice à proprement parler, est difficilement monétarisable en tant que telle du fait du caractère incommensurable de certaines valeurs sous-jacentes¹².

De plus, le déploiement de SfN prend son sens dans un processus de décision adapté au contexte d'incertitude actuel¹³. Par exemple, les SfN permettent d'éviter des utilisations des terres difficilement réversibles (dégradation des sols, imperméabilisation, etc.). Une telle flexibilité peut ainsi leur conférer une valeur d'option significative. Par ailleurs, la mise en œuvre de telles solutions dans le contexte actuel peut contribuer à l'acquisition de connaissances précieuses sur le fonctionnement des écosystèmes (modèle sédimentaire, suivi des populations de prédateurs, des ravageurs des cultures, etc.) et s'inscrire dans le cadre de stratégies d'acquisition de connaissances et de suivi de l'environnement.

8. Il s'agit, par exemple, de mesures de terrain ou d'outils de modélisation des crues et des flux sédimentaires aux échelles pertinentes et intégrant une représentation de l'occupation des sols.

9. Il s'agit par exemple, pour les projets des méthodes d'évaluation socio-économique des infrastructures de transport (Quinet, 2013) ou de l'Analyse multicritères (AMC) inondations (CGDD, 2018b).

10. Voir par exemple Toxopeus, H. et F. Polzin, (2017).

11. Pour les bâtiments et biens immobiliers construits, l'approche en coût global étendu (ISO 15686-5) offre par exemple un cadre normalisé susceptible de faciliter une telle intégration. Autre exemple, le CGDD (2019) a par ailleurs élaboré un outil destiné à faciliter l'intégration d'un cobénéfice non-marchand susceptible d'intervenir au crédit des SfN : la séquestration du carbone *in situ*.

12. Une monétarisation est cependant possible et a du sens dès lors qu'elle s'appuie sur les coûts de mesures requises dans une logique coût/efficacité pour l'atteinte des objectifs de conservation existants, à l'instar de l'approche actuellement préconisée dans l'évaluation socio-économique des projets et investissements publics (Quinet, 2013). Sur cet aspect, l'approche pertinente est donc identifiée mais elle reste délicate à mettre en œuvre.

13. Voir par exemple Kalra et al., (2014).

Par ailleurs, la mise en valeur de telles solutions nécessite d'accorder de l'importance aux perspectives de long terme dans les évaluations. Une fois planté, un peuplement forestier peut nécessiter plusieurs décennies avant de jouer son rôle protecteur (par exemple contre des risques en zone de montagne). Alors qu'il pourrait être la seule option compatible avec un développement durable du territoire dans lequel il s'inscrit, les règles habituelles de l'évaluation, et notamment de l'actualisation, peuvent malheureusement conduire à l'écarter de l'ensemble des solutions considérées¹⁴.

L'intégration de l'ensemble de ces enjeux dans les évaluations socio-économiques de projets d'adaptation au changement climatique représente un défi conceptuel et pratique. Il est cependant dès à présent possible et souhaitable de renforcer les méthodes d'évaluation existantes en y intégrant un ensemble parcimonieux et pertinent d'informations, possiblement qualitatives, et destinées à assurer la prise en compte des enjeux essentiels discutés ci-dessus¹⁵.

● *Mieux intégrer les SfN dans les stratégies territoriales à différentes échelles*

L'évaluation à l'échelle des projets d'aménagement ne peut, à elle seule, permettre une pleine intégration des valeurs des SfN. Un déploiement de SfN qui reposerait uniquement sur des enjeux exprimés à l'échelle des projets d'aménagement est susceptible de représenter un obstacle, de nature institutionnelle, au déploiement de telles solutions. En effet, la valeur des SfN peut ne pas être perceptible à l'échelle des projets en l'absence de projet territorial explicite. De tels projets territoriaux issus de processus de délibération collectifs informés sont nécessaires pour intégrer et articuler des enjeux variés et exprimés à des échelles internationale¹⁶, nationale¹⁷ et locale. Cette construction, du ressort des acteurs publics, peut justifier l'impulsion de SfN à l'échelle des territoires en dépit d'un intérêt qui ne serait que très faiblement perçu à l'échelle d'un projet d'aménagement.

Notre capacité collective à produire une évaluation équilibrée et susceptible d'appuyer le développement de SfN repose fortement sur la déclinaison et l'articulation, au niveau français, d'objectifs environnementaux au sein de projets de territoires. Lorsque de tels objectifs existent, et s'ils sont spécifiques et mesurables, il devient notamment possible d'évaluer les coûts des actions nécessaires à leur atteinte

14. Au taux d'actualisation de 4,5%, des bénéfices perçus dans cinq décennies ont une valeur actuelle divisée par dix.

15. Il s'agira par exemple, pour tout projet d'aménagement du territoire, de recourir à des typologies destinées à assurer un balayage d'ensemble des enjeux et une priorisation *a priori*, en lien avec les experts et les parties prenantes afin, dans un second temps, de mobiliser les éclairages pertinents sur des bénéfices ou des coûts jugés significatifs *a priori*, ou de s'appuyer sur des approches multicritères telles que l'AMC inondation (CGDD, 2018b). Voir aussi Rizvi A. R., Baig S., Verdone M., (2015).

16. À titre d'exemple, on pourra citer l'objectif de vivre en harmonie avec la nature, qui correspond à la vision à l'horizon 2050 de la Convention onusienne sur la diversité biologique dont la France est partie.

17. À titre d'exemple, on pourra citer l'objectif d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 exprimé dans le Plan climat du Gouvernement français ou l'objectif exprimé dans le Plan national d'adaptation au changement climatique 2018-2022 (PNACC-2) d'adapter, d'ici 2050, les territoires de la France métropolitaine et outre-mer aux changements climatiques régionaux attendus.

et, notamment, de produire des valeurs de référence susceptibles de guider les acteurs locaux. Lorsqu'un projet d'aménagement est évalué, il devient possible de porter à son crédit ses contributions à l'atteinte d'objectifs environnementaux territoriaux ou inversement, de lui imputer les coûts qui seraient liés au fait qu'il rend nécessaire de nouvelles mesures pour garantir l'atteinte de ces objectifs¹⁸. On voit ainsi comment la formulation d'objectifs environnementaux spécifiques et mesurables dans le cadre de projets territoriaux permettrait de tarir les sources de biais évoquées contre les SfN. Le développement et le renforcement d'objectifs environnementaux sur le territoire français restent néanmoins largement à consolider tout comme, *a fortiori*, l'estimation et le suivi des coûts de leur atteinte¹⁹.

Des progrès restent à accomplir dans les approches d'évaluation afin d'être en mesure, à terme, de valoriser dans une juste proportion les SfN pour les stratégies d'adaptation aux effets du changement climatique. À court terme, il est tout à fait possible de compléter les méthodes d'évaluation des projets et des investissements afin de se prémunir des biais identifiés. Il est aussi possible d'envisager le déploiement de SfN, à l'échelle des projets et des territoires, dans une logique de recherche-action prévoyant la conception et le déploiement concomitant d'une action et d'une acquisition des connaissances utiles pour l'orienter. À court et plus long termes, ces travaux font l'objet d'une attention particulière dans le cadre de programmes d'évaluation tels que l'Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFESE).

Deux approches de l'évaluation socio-économique des Solutions fondées sur la Nature : les retombées socio-économiques et les services écosystémiques

Théo Mouton,
CDC-Biodiversité

La principale justification économique des Solutions fondées sur la Nature (SfN) réside, à travers l'adaptation au changement climatique, dans l'évitement des coûts potentiellement provoqués par l'érosion des côtes, les inondations, les îlots de chaleur urbains, etc. Au-delà de ces coûts évités, elles permettent de réelles retombées économiques et représentent des alternatives innovantes, crédibles, et économiquement viables aux solutions grises²⁰. Ces dernières, provenant de solutions issues du génie civil (barrages en béton, digues...), ont en effet des coûts de construction et d'entretien élevés (surveillance, dégâts provoqués, entretien régulier) en plus d'avoir des besoins très énergivores en ressources naturelles

18. À ce jour, ces dispositions consistant à évaluer les impacts d'un projet au regard des objectifs d'un territoire figurent dans les études d'impact mais la faible spécificité des objectifs environnementaux et l'absence d'information sur les coûts de leur atteinte compromettent leur pleine intégration dans le processus de décision à l'échelle des projets.

19. Voir par exemple OCDE, (2016) et Y. Kervinio, A. Vergez, (2018).

20. CDC Biodiversité, (2019).

(et donc une émission accrue de gaz à effet de serre). S'il existe encore de nombreuses incertitudes sur la résilience des écosystèmes aux impacts du changement climatique et donc sur la durabilité des SfN, les problématiques liées aux infrastructures grises sont semblables : l'ampleur des dérèglements climatiques pourrait surpasser les solutions mises en œuvre, telles les digues submergées ne permettant plus de protéger les territoires littoraux.

L'utilisation de l'évaluation économique peut favoriser la légitimation du développement des SfN, notamment en quantifiant et en mettant en exergue leurs avantages économiques, sociaux et environnementaux. Il est cependant à préciser que les arbitrages doivent reposer sur des approches quantitatives mais également qualitatives (la complexité de la biodiversité et ses bénéfices ne pouvant être réduits à un simple calcul) et sur le long terme (pour appréhender la dynamique des changements globaux). Notre propos portera sur deux approches de l'évaluation économique qui peuvent être combinées pour encadrer au mieux la pluralité des bénéfices des SfN : l'approche par les retombées socio-économiques et l'approche par les services écosystémiques.

● *L'approche par les retombées socio-économiques*

L'approche par les retombées socio-économiques fait appel à une méthode d'évaluation s'appuyant sur les retombées économiques directes, indirectes et les impacts induits par la mise en place des SfN.

La mise en place des SfN demande des investissements directs, qui s'appuient notamment sur des techniques de l'ingénierie écologique, filière dont les emplois sont généralement non délocalisables²¹ et qui utilise des ressources du territoire où elle est mise en œuvre. Leur durabilité est aussi gage d'un investissement de long terme sur le territoire. De plus, étant donné leurs multiples bénéfices, les SfN donnent l'opportunité pour développer des nouveaux modèles de financement et engendrer davantage de retombées économiques (e. g. un espace vert initialement prévu pour lutter contre les inondations peut être mis à disposition pour l'apiculture ou l'élevage).

Les retombées économiques des SfN dépassent largement le projet en lui-même : un effet multiplicateur lié aux bénéfices indirects et induits peut accroître le dynamisme économique territorial. Ces retombées peuvent découler d'une abondance accrue en ressources naturelles (e. g. la restauration de récifs ostréicoles, utile à la lutte contre l'érosion, peut redynamiser l'économie ostréicole et la pêche)²². Dans le cas de la restauration d'herbiers, de mangroves ou de coraux, leur gestion durable peut générer des bénéfices supplémentaires liés notamment à l'attractivité touristique²³. Les espaces verts en ville peuvent augmenter de manière impor-

21. Dellanoy, (2016).

22. Kroeger, (2012).

23. White et al., (2000).

tante les recettes de la collectivité, ceux-ci améliorant la qualité de vie où ils sont implantés et valorisant donc le prix de l'immobilier²⁴.

● *L'approche par les services écosystémiques*

L'approche par les services écosystémiques permet, à travers des méthodes de l'économie de l'environnement (méthode des prix de marché, des coûts évités, de transfert de bénéfices, de préférences révélées, de prix hédonistes...), de mesurer les externalités des SfN sur les écosystèmes et les bénéfices économiques des services écosystémiques qu'elles ciblent.

Par exemple, un projet de zone humide urbaine dont l'objectif initial est de répondre à des objectifs d'aménagement urbain (épuration des eaux à travers la création de bassins filtrants) aura de nombreux cobénéfices liés aux services écosystémiques, pour les riverains du parc et l'ensemble de la ville (en plus des retombées socio-économiques). Ainsi, le parc fournira des services d'approvisionnement (fourniture en eau, production alimentaire...), des services de régulation (régulation du climat, qualité de l'eau, soutien d'étiage, prévention du risque d'inondation...), des services de support (offre d'habitats naturels, production de biomasse, cycle des éléments nutritifs, support de biodiversité...) et des services culturels (aménités paysagères, santé et activités récréatives, impacts sociaux et sensibilisation...).

Dans le cadre de la mise en place de SfN dans des projets d'aménagement urbain, la création de lien social et les bénéfices sociaux sont importants²⁵. La mise en œuvre d'une SfN peut être l'occasion d'intégrer les citoyens au projet, tout en permettant la sensibilisation et une qualité de vie accrue à travers la création d'espaces verts. Les SfN sont alors une source de développement d'une vision partagée du projet, en fédérant un grand nombre d'acteurs des secteurs public, privé et de la société civile.

Il est donc crucial de réaliser une véritable évaluation de l'intérêt de l'alternative que représente le recours aux SfN en amont de tout projet afin de pouvoir prendre les décisions les plus judicieuses d'un point de vue économique mais également social et environnemental. Les SfN sont en effet conçues pour être des mesures « sans regret »²⁶, avec des bénéfices au moins égaux aux coûts qu'elles génèrent pour la société, voire supérieurs selon les cas, quels que soient les avantages apportés en matière de réduction des impacts du changement climatique²⁷. Ainsi, même dans le paradigme actuel où les enjeux environnementaux sont considérés comme secondaires par rapport aux enjeux économiques dans les processus de décision, le choix devrait s'appuyer sur une comparaison systématique, complète et transparente des solutions, ainsi qu'une combinaison

24. Bockarjova M., Wouter Botzen W. J., (2017).

25. Kazmierczak A., Carter J., (2010).

26. Le concept de SfN défini par l'UICN induit que les mesures mises en place soient « sans regret » dans la mesure où quel que soit leur objectif (adaptation, atténuation, préservation de la ressource en eau, etc.) elles doivent l'atteindre « tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité ».

27. Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU), (2010).

efficace entre les mesures d'adaptation pour répondre à l'intégralité des enjeux territoriaux.

Les approches de l'évaluation socio-économique par les retombées socio-économiques et par les services écosystémiques sont utiles pour déterminer dans quelle mesure les SfN peuvent constituer des solutions d'adaptation au changement climatique. Étant donné la multiplicité des enjeux sociétaux auxquels elles répondent, les SfN sont en capacité d'entraîner de manière transversale l'ensemble des acteurs et des secteurs d'activité d'un territoire vers la prise en compte des impacts du changement climatique. Se donner les moyens de s'adapter au changement climatique exige donc de sortir des cadres conceptuels qui ont prévalu jusqu'ici et de s'engager vers ces solutions multifonctionnelles, durables, économiques et dynamiques.

Financements

Les Solutions d'adaptation fondées sur la Nature dans les Fonds européens structurels et d'investissement (Fesi)

Sarah Voirin,

Observatoire national sur les effets
du réchauffement climatique

Les cinq Fonds européens structurels et d'investissement (Fesi)²⁸ sont conçus pour être mobilisés par les collectivités territoriales dans le but de financer des investissements dans les domaines de la recherche et de l'innovation, des technologies digitales, de l'économie bas carbone, de la gestion durable des ressources naturelles et des petites entreprises.

En ce qui concerne le Fonds européen de développement régional (Feder)²⁹, ces investissements sont déclinés en objectifs thématiques parmi lesquels chaque État membre en coordination avec les autorités locales est amené à se positionner. L'adaptation au changement climatique fait partie des objectifs thématiques retenus par la France comme acté par l'accord de partenariat 2014-2020 entre l'Union européenne, l'État français et les Régions. L'Objectif thématique 5 englobe l'adaptation au changement climatique et la prévention des risques et représente 4% du Feder pour la période 2014-2020. Cet objectif thématique se décline en priorités d'investissement dont la priorité d'investissement 5a (Pi 5a) qui vise à « soutenir des investissements en faveur de l'adaptation au changement climatique, y compris les approches fondées sur les écosystèmes ». Dans ce cadre il est prévu que les collectivités territoriales situées dans des régions particulièrement vulnérables aux impacts du changement climatique puissent élargir au Feder pour monter des projets d'adaptation au changement climatique. Parmi les mesures d'adaptation proposées dans le cadre de ces projets, les solutions de génie écologique sont soutenues en priorité. Le Feder permet donc de financer la mise en œuvre de projets d'adaptation au changement climatique fondés sur la nature en France. Le 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.

Le Fonds européen agricole de développement rural (Feader)³⁰ 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. Le Feader permet de développer les actions d'adaptation fondées sur la nature suivantes :

28. https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/funding-opportunities/funding-programmes/overview-funding-programmes/european-structural-and-investment-funds_fr

29. <https://www.europe-en-france.gouv.fr/fr/fonds-europeens/fonds-europeen-de-developpement-regionale-FEDER>

30. <https://www.europe-en-france.gouv.fr/fr/fonds-europeens/fonds-europeen-agricole-pour-le-developpement-rural-FAEDER>

- Les pratiques agricoles et sylvicoles à l'échelle des exploitations et des territoires permettant d'accroître les fonctionnalités écologiques et la capacité d'adaptation des agro-écosystèmes et des forêts face au changement climatique. En particulier, pour l'agriculture, la restauration et l'accroissement de la fertilité des sols, la diversification des cultures, le développement des cultures intercalaires, le développement d'infrastructures agro-écologiques, l'agroforesterie.
- Le renforcement du rôle de protection de la forêt vis-à-vis des risques d'érosion des sols, de chute de blocs et d'avalanche, en particulier en zone de montagne.
- La limitation de l'artificialisation des espaces naturels et agricoles en divisant par quatre le taux actuel.

Les autorités de gestion du Feder et du Feader sont les conseils régionaux. C'est donc auprès des services du conseil régional auquel ils sont rattachés que les collectivités territoriales et les autres acteurs doivent déposer leur dossier de candidature pour des projets d'adaptation au changement climatique.

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. L'enveloppe fléchée pour la France au titre de l'Objectif thématique 5 pour le Feder s'élève à 317 millions d'euros sur la période 2014-2020. Or fin 2018, seuls 53 % du montant dédié à l'OT5 et 50 % du montant dédié à la Pi 5a étaient programmés³¹. Par ailleurs, seules quatre des vingt-sept régions de métropole avaient mobilisé cette priorité d'investissement spécifiquement dédiée à l'adaptation dans leur programme opérationnel. C'est pourquoi le deuxième Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC-2) souhaite faciliter et renforcer l'accès et la mobilisation des fonds européens par les porteurs de projets français.

Par ailleurs, les projets d'adaptation au changement climatique peuvent également être mis en œuvre *via* les programmes ayant un volet climat financé par les Fesi (ex. : LIFE, Interreg). Pour l'ensemble de ces programmes, la Commission européenne publie chaque année sur son site internet les appels à projets fixant les nouvelles priorités et des guides contenant des orientations sur le montage de projets à destination des candidats.

31. https://www.europe-en-france.gouv.fr/sites/default/files/2018_decembre_avancement_thematique_feder_fse_iej2.pdf

Les Solutions d'adaptation fondées sur la Nature dans le Programme LIFE

● Le Programme LIFE

Anaïs Degache-Maspero,

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

Le programme LIFE³² ou « Instrument financier pour l'environnement » est un fonds de la Commission européenne permettant de financer des projets dédiés à l'environnement et au climat.

Ce programme s'inscrit dans la politique européenne pour la protection de l'environnement. L'Acte unique européen (1986) a entériné le début de cette politique, le titre « Environnement » a été inclus dans le Traité de la CEE (Communauté économique européenne). Par la suite, les différents traités³³ ont assis la politique environnementale et climatique en tant que politique européenne.

Lancé en 1992, le programme LIFE, est le principal instrument destiné à alimenter la politique européenne pour l'environnement et le climat. Il vise notamment à soutenir la mise en œuvre du septième programme pour l'environnement de la Commission européenne pour 2020. Le règlement LIFE 2014-2020 (1293/2013) prévoit une enveloppe de plus de 3 milliards d'euros pour des projets qui ne peuvent être financés par les principaux programmes de financement européens. En raison de ses caractéristiques et de sa taille, son objectif n'est pas de résoudre les problèmes environnementaux ou climatiques de manière globale, mais plutôt d'agir en catalyseur en finançant des solutions innovantes de manière à ce qu'elles puissent être diffusées dans le développement et la mise en œuvre de politiques publiques des États membres.

De cette façon, la Commission fait en sorte de financer des projets pilotes, de démonstration ou faisant appel aux meilleures pratiques, qui puissent être répliqués afin d'atteindre ses objectifs environnementaux et climatiques. Deux types de projets peuvent être financés : des projets LIFE traditionnels, durant en général deux à cinq ans et dotés d'un financement de 500 000 à 5 000 000 d'euros, et des projets LIFE intégrés, dont la visée territoriale est plus large et qui ont pour objectif de contribuer à la mise en œuvre des politiques publiques des acteurs publics et de leurs partenaires, dont la subvention peut s'élever jusqu'à 10 millions d'euros. Étant donné qu'ils visent un large périmètre (domaines d'intervention/territoire géographique) et s'étendent sur une longue période, la particularité des projets

32. <https://ec.europa.eu/easme/en/life>

33. Article 2 du Traité sur l'Union européenne (TUE) dit « Traité de Maastricht » (1992); article 191 du Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne (TFUE) dit « Traité de Lisbonne » (2007).

LIFE intégrés est d'impliquer un grand nombre de partenaires appelés « bénéficiaires associés » et « cofinanceurs » actifs à diverses échelles de gouvernance.

Le programme LIFE se décline en deux thématiques, détaillées dans le programme de travail pluriannuel 2018-2020. La première thématique est l'environnement, avec trois domaines prioritaires : l'environnement et l'utilisation rationnelle des ressources, la nature et la biodiversité, ainsi que la gouvernance et l'information en matière d'environnement. L'autre thématique, « Action pour le climat », se décline en trois domaines prioritaires : l'atténuation du changement climatique, la gouvernance et l'information en matière de climat et l'adaptation au changement climatique. Ce sous-volet permet notamment de proposer des Solutions fondées sur la Nature (SfN) pour l'adaptation au changement climatique (voir Projet LIFE « Adapto » et Projet LIFE intégré « Artisan » ci-après).

Tout acteur enregistré dans l'Union européenne peut déposer une candidature pour un projet LIFE traditionnel, intégré ou une demande d'assistance technique au montage de projet, pour les sous-programmes pour l'environnement et le climat. Cela inclut donc les acteurs publics sous l'autorité d'un gouvernement national (ex. : collectivités territoriales, administration nationale), les acteurs privés à but lucratif et les acteurs privés à but non lucratif (ex. : ONG).

Afin d'être accompagnés, les porteurs de projets français peuvent s'adresser au point focal national LIFE climat rattaché au ministère de la Transition écologique et solidaire ainsi qu'à l'association Enviropea qui apporte pour le compte du ministère une assistance technique au montage de projets.

- **L'exemple du Projet LIFE «Adapto»**

Sarah Voirin,

Observatoire national sur les effets
du réchauffement climatique

Le Projet «Adapto» est un projet LIFE traditionnel de la composante «adaptation au changement climatique» porté par le Conservatoire du littoral en partenariat avec le Bureau des recherches géologiques et minières (BRGM) avec un budget de 6 728 520 € dont 60 % de cofinancement européen pour la période 2017-2021.

Le Projet Adapto est un projet d'adaptation au changement climatique qui préconise une gestion souple du trait de côte. Son objectif est de démontrer l'intérêt des milieux naturels dans la gestion des risques littoraux, en particulier érosion et submersion marine, dans une perspective d'adaptation au changement climatique, à travers l'accompagnement et la restitution de dix démarches locales (voir figure I1).



Figure I1 – La méthode innovante du Projet «Adapto».

Source : Conservatoire du littoral.

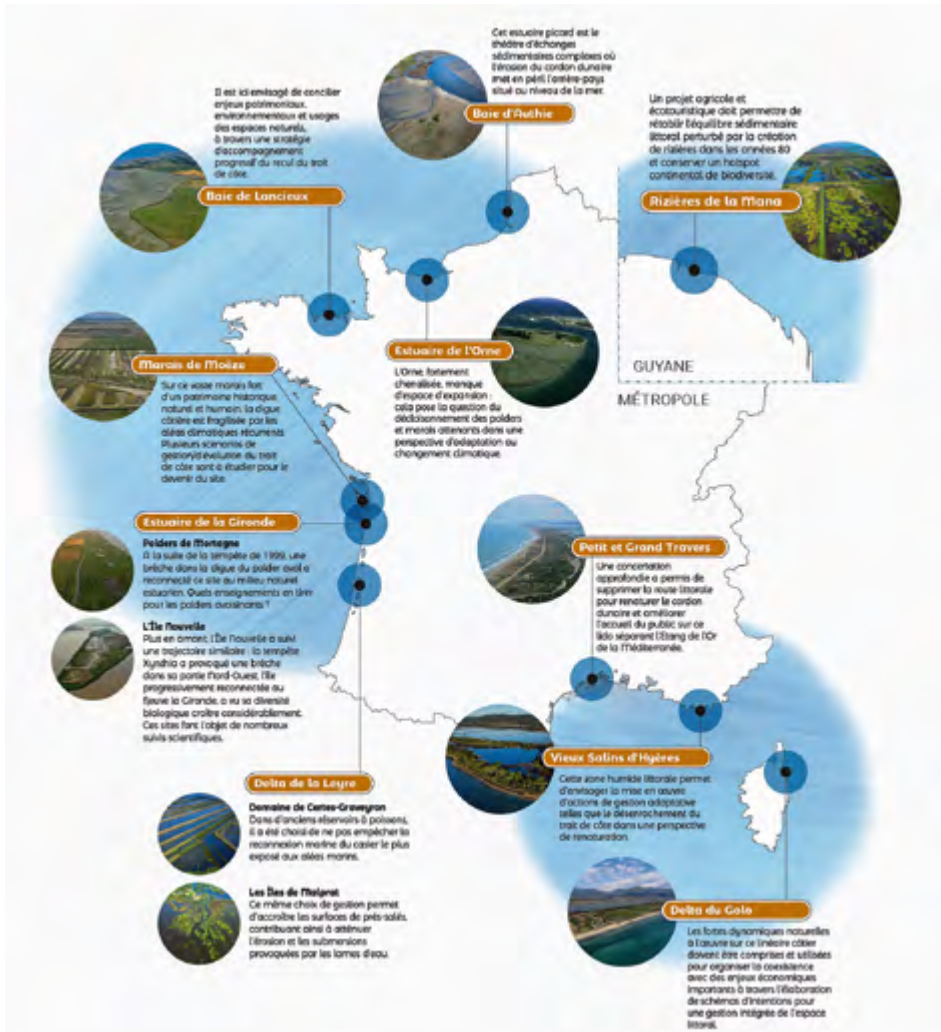


Figure I2 – Carte des sites pilotes du Projet « Adapto ».

Source : Conservatoire du littoral.

À l'échelle de chacun des sites, le but est de mettre en œuvre un projet de territoire intégrant le rôle des écosystèmes naturels, à l'aide d'une méthode innovante (voir figure I2) et en concertation avec les acteurs locaux. À partir des résultats des actions entreprises dans le cadre de ces projets de territoire, il s'agit de démontrer les bénéfices physiques, écologiques, économiques et sociétaux apportés en fonction de chaque contexte local.

À l'échelle globale, l'idée est de s'appuyer sur la diversité des situations géographiques et de la nature des sites pilotes pour montrer que différents types de solutions et notamment des SfN existent selon les configurations locales.

Le Conservatoire du littoral considère qu'avec le changement climatique la préservation du littoral ne peut plus reposer uniquement sur une défense rigide du trait de côte. Il part du constat qu'après des siècles d'artificialisation du littoral et de maîtrise des évolutions naturelles pour le développement et la sécurisation de nombreuses activités économiques, le littoral est devenu de plus en plus vulnérable. Et cette vulnérabilité face aux aléas naturels est en train de s'accroître dans un contexte de changement climatique où le niveau de la mer s'est déjà élevé de 15 cm dans le monde au cours du xx^e siècle et pourrait atteindre 1,10 m d'ici à la fin du siècle³⁴.

À travers le Projet Adapto, le Conservatoire du littoral invite donc à un changement de paradigme dans la gestion du littoral. Plutôt que de lutter contre les phénomènes naturels il s'agit de leur rendre de l'espace, en utilisant les milieux comme des zones tampons face aux aléas et éloignant autant que possible les personnes et les biens des secteurs vulnérables. La démarche retenue est celle d'une évolution libre du trait de côte, au sein d'une bande côtière étendue, qui permet d'équilibrer les transports de sédiments, d'absorber l'énergie de la mer lors de tempêtes, de réduire les risques sur le littoral. En somme, il s'agit de préserver une bande de terrain naturel en bord de mer, partout où cela est possible, afin de mettre en place une Gestion intégrée des zones côtières (GIZC) adaptée au changement climatique et respectueuse des écosystèmes.

● *L'exemple du Projet LIFE Intégré Artisan – «Accroître la résilience des territoires par l'incitation aux Solutions fondées sur la Nature»*

Sarah Voirin,

Observatoire national sur les effets
du réchauffement climatique

*Un projet spécifiquement dédié aux Solutions d'adaptation
fondées sur la Nature (SafN)*

Le Projet Artisan – «Accroître la résilience des territoires par l'incitation aux Solutions fondées sur la Nature» s'inscrit dans le volet «adaptation au changement climatique» du programme «LIFE intégré» de la Commission européenne. Le Projet Artisan sera mis en œuvre sur la période 2019-2027 avec un budget total de près de 17 millions d'euros dont 60% de cofinancement européen.

Il s'agit d'un projet coordonné par l'Agence française pour la biodiversité en partenariat avec une trentaine d'organisations œuvrant dans les domaines de la biodiversité et du climat telles que l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (Onerc), le Comité français de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN-FR), l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe), le Centre d'études et d'expertise sur les risques,

34. GIEC, (2019), SROCC.

l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema), la Caisse des dépôts et consignations-Biodiversité (CDC-B), le Centre européen de prévention du risque d'inondation (CEPRI), des agences régionales de la biodiversité et de nombreuses collectivités territoriales.

Comme tout projet du programme « LIFE Intégré », le Projet Artisan vise la mise en œuvre d'un plan national existant. L'objectif du Projet Artisan est de renforcer la mise en œuvre des plans nationaux d'adaptation au changement climatique, en commençant par le deuxième Plan national d'adaptation au changement climatique 2018-2022 (PNACC-2), à travers le déploiement massif de Solutions d'adaptation fondées sur la Nature (SafN).

L'approche stratégique choisie pour la mise en œuvre de ce projet consiste à créer les cadres d'action nécessaires et à lever les freins afin de permettre la généralisation de l'usage par les décideurs de SafN dans toutes les situations et territoires où cela est pertinent d'ici à 2030. Pour ce faire, le projet devra répondre à dix objectifs :

- 1) Mettre en place un cadre institutionnel pour encourager la généralisation des SafN à travers un système de gouvernance national soutenu par des points focaux territoriaux.
- 2) Augmenter la part des investissements publics et privés alloués aux SafN en modifiant les canaux de financements, en développant des marchés et en sécurisant les *business models* correspondants.
- 3) Apporter aux décideurs les moyens techniques de répondre à leurs besoins, les interlocuteurs qualifiés, les professionnels formés aux techniques existantes, et l'aide nécessaire dans la conception, la planification, la mise en œuvre et la pérennisation des SafN.
- 4) Ajuster l'acquisition et le transfert de connaissances aux besoins locaux et mieux informer les décideurs sur la valeur, l'efficacité et la pertinence des SafN, notamment à travers un programme démonstrateur.
- 5) Améliorer la compréhension, générer le soutien, la mobilisation et la participation des citoyens dans les initiatives visant les SafN.
- 6) Renforcer l'intégration des approches conduisant aux SafN dans la planification territoriale.
- 7) Créer des nouveaux cadres favorables aux approches transversales pour mettre en place des stratégies thématiques (pour différents secteurs économiques, des territoires spécifiques, des enjeux spécifiques, etc.) adressant de manière conjointe les enjeux de l'adaptation au changement climatique et de la restauration écologique.
- 8) Faire un meilleur usage des projets passés et présents en créant des réseaux pour diffuser les retours d'expériences à différents niveaux (européen, national, local) et concernant différents enjeux et sujets.

9) Acquérir les moyens de collecter, d'informer et de diffuser les bonnes pratiques développées durant le Projet Artisan pour renforcer la coopération et la résilience européenne.

10) Améliorer de manière continue la pertinence du Projet Artisan à travers une entité de coordination, de gestion et de suivi de la mise en œuvre, une entité réactive capable de tenir compte de l'évolution du savoir scientifique et des changements dans l'environnement institutionnel.

Obstacles et sources d'enseignement pour la mise en œuvre des Solutions d'adaptation fondées sur la Nature

Le montage de ce projet est parti du constat que les SafN sont encore loin d'être mobilisées à leur plein potentiel en tant que solutions d'adaptation au changement climatique. Un rapport de recherche publié en 2018 indique par exemple que les SfN « représentent bien moins de 1 % du total des investissements effectués dans les infrastructures pour la gestion de la ressource en eau »³⁵. Les discussions issues de la concertation nationale et territoriale pour l'élaboration du projet et l'analyse des résultats de recherche disponibles ont mis en avant un certain nombre de facteurs limitant pour la mise en œuvre des SafN présentés ci-après.

– Capacités techniques

Des difficultés concernant les capacités techniques ont été relevées. Les outils techniques pour mettre en œuvre les SafN ne sont pas encore suffisamment développés en France (méthodes standardisées, spécifications techniques, logiciels ajustés pour la gestion de projet, outils de modélisation...). Dans certains secteurs, on observe un manque de qualification (agents des autorités locales, sous-traitance assurée par des entreprises de conseil) et une gamme de services relativement pauvre.

– Capacité d'investissement et de financement

Les incitations financières régionales et nationales continuent de s'adresser en priorité aux infrastructures grises plutôt qu'aux SafN. Il n'existe que peu d'incitations financières pour permettre la création d'un canal spécifique de financement pour les activités économiques centrées sur les SafN (construction d'une réelle offre et demande). Les *business models* nécessaires pour encourager les entreprises et les collectivités territoriales à investir sur le long terme dans les SafN ne sont pas encore suffisamment clairs. Les cobénéfices ne sont pas suffisamment pris en compte.

35. WWAP/UN-Water 2018, *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water*, Paris, Unesco.

– Freins sociaux-culturels

Les SafN peuvent encore parfois être perçues comme sources de problèmes à court terme plutôt que comme des solutions potentielles aux problèmes à long terme (ex. augmentation des insectes ravageurs et des pathogènes suite à la restauration de zones humides pour empêcher des inondations). Les SafN souffrent parfois encore d'un manque de crédibilité concernant leur potentiel et leur efficacité comparés à des solutions grises, notamment dans des situations impliquant la gestion des risques (ex. : une solution grise comme une digue est souvent considérée comme plus prudente quand il s'agit de protéger des vies et des propriétés). La simple résistance au changement peut limiter la volonté de considérer des alternatives perçues comme plus complexes. Les systèmes éducatifs, notamment les écoles d'ingénieur, continuent d'accorder une valeur plus importante aux solutions venant des « sciences dures » qu'aux solutions souples et vertes (transmission de longue date de cultures professionnelles).

– Lacunes dans les savoirs scientifiques et difficultés dans le transfert de connaissances

Des incertitudes persistent concernant le fonctionnement et l'efficacité de certaines SafN et leur pérennité dans le temps, particulièrement en ce qui concerne leurs conditions de mise en œuvre (conditions d'installation, type de territoire et de climat, quantification des résultats attendus, etc.) et d'entretien. Les niveaux de performance des SafN sont rarement quantifiés et/ou clarifiés par l'utilisation d'indicateurs. De nombreux résultats de recherche existent dans de nombreux domaines liés aux SafN, cependant ces résultats n'ont pas été suffisamment utilisés et ils n'ont pas été largement diffusés auprès des décideurs. Les conditions nécessaires au succès des SafN n'ont pas été suffisamment présentées aux décideurs.

– Problèmes de gouvernance

Les enjeux climat et biodiversité ne sont pas suffisamment intégrés dans les structures de gouvernance aux niveaux national et local. Les départements opérationnels, notamment dans les collectivités territoriales, travaillent rarement en synergie sur ces enjeux et les réseaux de parties prenantes ont peu d'interactions. L'aménagement du territoire et les stratégies de gestion ne prennent pas suffisamment en compte les synergies potentielles entre les enjeux climat et biodiversité.

Lever ces différents obstacles permettrait ainsi d'aller plus loin dans la mise en œuvre de SafN.

Les Solutions d'adaptation fondées sur la Nature dans le Programme Interreg

● Le Programme Interreg

Sarah Voirin,

Observatoire national sur les effets
du réchauffement climatique

Le Programme Interreg³⁶ est le Programme européen de coopération territoriale. Interreg est l'un des deux objectifs de la politique de cohésion et fournit un cadre pour la mise en œuvre d'actions conjointes et d'une politique d'échanges entre des acteurs nationaux, régionaux et locaux de différents États membres. La particularité des projets Interreg est donc d'impliquer des acteurs provenant de différents États transfrontaliers européens.

L'objectif global d'Interreg est de promouvoir un développement économique, social et territorial harmonieux de l'Union dans son ensemble. Interreg est construit autour de trois axes de coopération : la coopération transfrontalière (Interreg A), la coopération transnationale (Interreg B) et la coopération interrégionale (Interreg C).

Cinq périodes du Programme Interreg se sont succédées jusqu'à aujourd'hui : Interreg I (1990-1993) – Interreg II (1994-1999) – Interreg III (2000-2006) – Interreg IV (2007-2013) – Interreg V (2014-2020). En 1990, Interreg a démarré avec un budget de tout juste 1 milliard € couvrant exclusivement la coopération transfrontalière. Aujourd'hui, la programmation 2014-2020 concentre 10,1 milliards € sur les 351,8 milliards € de la politique de cohésion. Elle représente 2,8% du budget total de la politique de cohésion et une centaine de programmes de coopération.

Le but est d'avoir une action de coopération au niveau territorial entre États membres, de s'attaquer ensemble à des défis communs et de trouver des solutions qui puissent être partagées, que ce soit dans les domaines de la santé, de la recherche et de l'éducation, des transports et de l'énergie durable. La programmation actuelle est centrée sur onze investissements prioritaires fixés par la régulation du Fonds européen de développement régional³⁷ (Feder) dont trois investissements concernant l'environnement parmi lesquels figure la lutte contre le changement climatique. Le Programme Interreg peut donc être mobilisé pour financer des projets de coopération territoriale sur l'adaptation au changement climatique et même fondés sur la nature comme le montrent les exemples de projet ci-après.

36. <https://www.interregeurope.eu/>

37. <https://www.europe-en-france.gouv.fr/fr/fonds-europeens/fonds-europeen-de-developpement-regional-FEDER>

- **Présentation du projet Interreg Adaptation “Nature Smart Cities Across the 2 Seas”**

Benjamin Poteau,

Direction nature en ville, mairie de Lille

Le Projet Interreg “Nature Smart Cities Across the 2 Seas”³⁸ a pour objectif de viser l’adaptation au changement climatique de villes bordant la Manche et la mer du Nord par le déploiement d’infrastructures vertes sur la base d’expérimentations menées en Angleterre, en Belgique, en France et aux Pays-Bas. La mise en œuvre de ce projet a débuté le 12 juillet 2018 et sa fin est prévue pour le 12 janvier 2022. Il est financé par le Feder à hauteur de 60% pour un budget global de 6 380 472 €.

Comment la ville de Lille participe-t-elle au projet Interreg?

Au départ, lorsque le projet Interreg a été lancé, il n’intégrait pas de ville française. Lille est devenue partenaire du projet Interreg en cours de mise en œuvre, ce qui a permis un démarrage assez rapide du projet lillois. La ville de Lille participe au projet Interreg par la mise en œuvre d’un projet d’infrastructures vertes sur le territoire lillois pour lutter contre le phénomène d’îlot de chaleur urbain lié au changement climatique, sur une période de huit semestres et avec un budget total de 732 850 €, dont 60% de financement en provenance de l’Union européenne. Ce budget total est réparti entre les frais de personnel, de gestion, d’équipement, d’étude (ex. : réalisation d’une évaluation du projet par un bureau d’étude externe), de création d’une infrastructure verte.

Le projet pilote de Lille

Lille est une ville dense et qui exprime une forte minéralité. Les principales vulnérabilités de Lille liées au changement climatique sont les îlots de chaleur urbains et les risques d’inondations par remontée des nappes et le ruissellement des eaux superficielles sur des sols très artificialisés. Ces événements touchent des zones densément peuplées et ont des impacts très importants sur la santé, la biodiversité, mais aussi, par effet domino, sur les équilibres des fonctionnements urbains et sociaux.

L’enjeu est de diminuer ou de compenser les effets du dérèglement climatique maintenant inéluctable, en travaillant sur les vulnérabilités du territoire. Pour ce faire, la nature est identifiée comme une réponse de premier ordre par de nombreuses études scientifiques.

Fort de ce constat, le projet pilote de Lille se fixe deux objectifs.

38. <https://www.interreg2seas.eu/fr/nsciti2s>

D'une part, il s'agit de développer l'infrastructure verte lilloise en recherchant des bénéfices sur le vivant en général :

- la santé humaine (physique et mentale) : régulation thermique, captation des polluants, bien-être, lien social, activités extérieures ;
- la biodiversité et donc la résilience : renforcement des trames vertes et bleues, création ou restauration d'habitats, de corridors, de ressources alimentaires.

D'autre part, le projet a pour objectif de veiller tout particulièrement à la résilience de cette infrastructure verte dans le temps, afin de ne pas obérer les efforts d'aujourd'hui par les conditions climatiques de demain.

L'approche est pensée pour assurer une densité végétale renforcée à toutes les échelles, du bâti à la ville.

– Phase de diagnostic de territoire

À la base du diagnostic, un cadrage méthodologique a permis de poser un certain nombre de questions clés pour le développement des infrastructures vertes sur le territoire lillois :

- Quelle échelle d'intervention ?
- Quels sont les espaces les plus densément peuplés ?
- Quelles interactions avec les zonages socio-économiques ?
- Quel type de végétalisation ? Murs ? Toits ? Arbres ?
- Quels espaces sont les plus favorables à la plantation d'arbres ?

La ville de Lille a effectué un diagnostic de territoire en deux temps.

Les vulnérabilités du territoire face aux impacts du changement climatiques en termes de santé et de biodiversité ont d'abord été analysées : artificialisation des sols, usage de matériaux à faible albedo, déficit de végétalisation de certains secteurs, les phénomènes de concentration de population et niveau socio-économique.

Puis des zones prioritaires d'intervention ont été identifiées sur la base d'un travail cartographique, à partir de données socio-démographiques et des continuités éco-paysagères existantes (îlots de chaleur, densité de population, couverture végétale existante, accessibilité des espaces de nature). Les quartiers Centre, Moulins et Wazemmes ont été ciblés en priorité par l'étude car ils concentrent de nombreuses vulnérabilités accentuées par le réchauffement climatique. Il s'agit parfois de quartiers très denses, avec des populations parfois précaires et donc pouvant être « captives » du territoire (l'offre d'espaces verts de proximité étant jugée insuffisante et le niveau de revenu limitant la possibilité de sortir de l'espace urbain pour « se mettre au vert »...).

– Élaboration d'une stratégie de territoire

Une stratégie de plantation de l'échelle globale (ville) à l'échelle locale (quartiers/immeubles) a été élaborée en adéquation avec les enjeux, à partir d'analyses des bénéfices potentiels de différentes structures végétales : végétalisation verticale et développement du patrimoine arboré ont été retenus. Des critères ont

été définis afin d'évaluer les mesures mises en œuvre en termes de robustesse de l'infrastructure verte et d'impact de cette infrastructure sur les îlots de chaleur.

– Phase de mise en œuvre

La mise en œuvre concrète du projet lillois a procédé de la plantation d'arbre et de la végétalisation de façades.

1842 arbres ont été plantés lors de la dernière saison de plantation, répartis ainsi :

- 1 000 arbres pour créer deux boisements en entrée de ville et ;
- plantation d'arbres d'alignements.

Quant à la végétalisation de façades, elle a été développée :

- chez les particuliers avec des appels à projets de végétalisation et de plantation, en sélectionnant les secteurs les plus impactés par l'effet d'îlot de chaleur urbain (carte thermique) et en s'appuyant sur les collectifs citoyens existants (ce qui a permis d'assurer un taux de réponse élevé à ces appels à projets) ;
- dans les bâtiments publics avec une végétalisation en cours en 2019 de toutes les façades d'écoles dès lors que cela est techniquement possible (côtés cour et rue).

L'implication directe des citoyens et notamment des propriétaires privés dans les actions concrètes de plantation d'arbres et de végétalisation de façades, témoigne de la vision stratégique de la ville qui accompagne le projet pilote lillois : la ville comme lieu de vie en commun dépassant les frontières entre espaces publics et espaces privés.

Retour d'expériences sur le projet Interreg et sur le projet pilote de Lille

Lille s'est lancée dans le projet Interreg parce qu'elle a perçu les nombreux avantages que présente un projet Interreg pour le développement d'un projet d'adaptation au changement climatique. Ce type de projet permet de partager des savoirs et des savoir-faire et d'apprendre des autres pays en menant par exemple des évaluations croisées entre pays et en organisant des séminaires regroupant les différents partenaires. Ces séminaires ont permis d'échanger sur un certain nombre de défis communs : gestion administrative et financière, communication (comment capitaliser et diffuser au mieux les résultats des projets ?), réflexion sur la manière de choisir les techniques de végétalisation, sur les types de végétaux à planter, sur les cadres d'analyse à mobiliser. En ce sens le projet Interreg présente aussi une dimension d'ouverture culturelle. L'*Imperial college of London* impliqué dans le projet Interreg a par exemple permis d'élargir le périmètre du projet pilote de Lille en travaillant sur les externalités économiques de la nature en ville, thématique non envisagée au départ par l'équipe lilloise.

Un certain nombre de facteurs peuvent faciliter la participation à un projet Interreg tel que celui-ci. Le fait de disposer d'une équipe dédiée au projet avec notamment un chef de projet et un référent administratif, d'une communauté en interne travaillant sur la thématique du projet, et aussi d'avoir une certaine dextérité linguistique (tous les échanges avec les autres partenaires et la Commission européenne

étant en anglais) ont facilité la participation de Lille au Projet Interreg. Plus largement, une demande politique forte a permis d'accélérer le montage du dossier de candidature au Projet Interreg.

Quant au projet pilote de Lille, il a permis à la ville de mûrir la réflexion sur le diagnostic de territoire, qui s'ouvre aujourd'hui sur la sensibilisation à la notion de robustesse et sur la promotion de démarches d'adaptation de territoire flexibles dites « sans regret ».

Le taux élevé de mortalité des végétaux qui a succédé aux canicules de l'été 2019 a créé la surprise au sein de la population lilloise et des équipes municipales, témoignant d'un besoin de sensibilisation sur la fragilité des infrastructures vertes. Il était alors inconcevable que les arbres qui venaient d'être plantés dans le but de se protéger des impacts du changement climatique soient en posture délicate voire ne puissent eux-mêmes résister aux aléas climatiques. Le dépérissement des arbres, dont la portée n'est pas encore lisible, a donc généré un rappel sur la vulnérabilité potentielle des infrastructures vertes.

Ces épisodes ont conduit à une remise en question des modes de faire mobilisés pour la végétalisation. L'équipe projet se tourne donc vers la recherche de principes, de formes de végétalisation et de végétaux plus résilients quels que soient l'ampleur et les types d'impacts du changement climatique.

● *Projet ADAPT³⁹ (Assistere l'aDAttamento ai cambiamenti climatici dei sistemi urbani dello sPazio Transfrontaliero⁴⁰) : exemple de projet européen sur l'adaptation au changement climatique mobilisant les infrastructures vertes*

Valentina Bucchi,
Anci Toscana⁴¹

« Nous travaillons pour une mutation génétique des villes, c'est-à-dire un changement de perspective qui transforme l'adaptation en une priorité transversale totalement intégrée dans les différents domaines de planification urbaine » – Elena Conti, chef de projets européens de Anci Toscana.

Le Projet ADAPT est cofinancé par le Programme européen Interreg Italie – France maritime 2014-2020 pour une durée de trente-six mois. Anci Toscana en est le chef de file. Ce projet regroupe parmi ses partenaires : une association de municipalité au niveau régional (Anci Toscana), neuf municipalités (Livorno, Rosignano, Alghero, Sassari, Oristano, La Spezia, Savona, Vado Ligure, Ajaccio), une communauté d'agglomération (Bastia), un département (Département du Var), une

39. <http://interreg-maritime.eu/fr/web/adapt>

40. En français, « Soutenir l'adaptation au changement climatique des systèmes urbains de l'espace transfrontalier ».

41. Anci Toscana est une association représentant les municipalités de la Toscane (Italie).

association d'entreprises de service public opérant dans le secteur intégré de l'eau (Cispel Toscana), un organisme de recherche (Fondazione CIMA). Ce projet a pour objectif d'améliorer la capacité des villes italiennes et françaises de la côte de la haute Tyrrhénienne à faire face aux conséquences du changement climatique, en particulier aux inondations urbaines causées par des pluies soudaines et intenses, en s'appuyant notamment sur des infrastructures vertes.

Parmi les résultats déjà obtenus grâce au Projet ADAPT, des espaces verts ont été construits pour améliorer la capacité de drainage du tissu urbain et une infrastructure verte a été mise en place pour ralentir le ruissellement de l'eau de pluie dans des zones de forêt. En ce qui concerne les actions en phase de préparation, deux modèles de gestion d'infrastructures vertes pour améliorer leur capacité à contenir les eaux de pluie sont en cours de développement.

Les zones qui ont été choisies pour la réalisation des infrastructures présentaient de fortes criticités en cas de pluies fortes et soudaines (par exemple, la plupart des revêtements de sol avait des problèmes d'inondation avant la réalisation des travaux).

De plus, le projet aide les municipalités à préparer, mettre en œuvre et surveiller des plans d'adaptation locaux : grâce à ces plans, les municipalités pourront réaliser de nombreuses autres interventions telles que celles déjà prévues dans le cadre du Projet ADAPT, en améliorant la résilience du territoire aux conséquences du changement climatique, et en particulier aux inondations causées par les pluies.

Le Projet favorise également une « culture de l'adaptation » qui manque généralement aux citoyens, aux équipes municipales et aux élus locaux. En effet, l'idée d'atténuer les causes du changement climatique est beaucoup plus répandue donc les municipalités mènent plus facilement (mais pas assez efficacement) des plans pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. D'autre part, ils ne sont pas familiers avec l'idée que, même si nous cessons d'émettre des gaz à effet de serre dès aujourd'hui, les villes de la haute Tyrrhénienne devront faire face pour des centaines d'années aux conséquences du changement climatique déjà en cours. Le Projet favorise donc la prise de conscience, parmi les citoyens et les municipalités, que nos villes doivent être repensées et réaménagées pour vivre avec les conséquences du changement climatique. Ceci peut être réalisé à travers le recours aux Solutions fondées sur la Nature telles que les infrastructures vertes dans la planification et la maintenance des bâtiments, des sections de route, des égouts et des espaces verts pour les rendre plus résilients.

Nature 2050 : mobiliser les acteurs économiques en faveur de l'adaptation des territoires au changement climatique à travers la préservation de la biodiversité

**Suzanne Rihal, Antoine Cadi
et Théo Mouton,**
CDC-Biodiversité

● *Outil innovant de financement de la transition écologique à horizon 2050*

Contribution à l'atteinte des objectifs globaux et français

En 2015, la COP21 a fixé l'objectif de contenir le réchauffement global en dessous de +2 °C, et de renforcer les capacités d'adaptation à ce changement. Quatre ans plus tard, force est de constater que cet objectif sera difficile à tenir. En parallèle, la communauté scientifique nous rappelle que même si nous parvenions à contenir la hausse de la température à 2 °C d'ici la fin du siècle, les systèmes naturels et économiques seraient tout de même profondément bouleversés. Climat et biodiversité sont en interaction étroite et permanente, cette dernière jouant un rôle majeur sur la régulation du climat mondial et local. La biodiversité fournit en effet des services aussi bien pour atténuer le changement climatique, grâce à l'absorption de CO₂ par les écosystèmes terrestres et marins, que pour adapter les territoires à ce changement. Or, le constat de l'effondrement des espèces et d'une dégradation de la biodiversité sans précédent, confirmé dans le rapport sur la biodiversité publié par la plateforme intergouvernemental sur la biodiversité et les services écosystémiques⁴² (IPBES) le 6 mai 2019, fait consensus. La réponse mondiale est insuffisante et nécessite un engagement plus important des acteurs dans tous les secteurs d'activité, à toutes les échelles territoriales.

En 2016, CDC-Biodiversité, filiale à 100% de la Caisse des dépôts et consignations, a lancé le programme Nature 2050⁴³ afin de contribuer à anticiper l'impact du scénario 2 °C sur les territoires et mieux favoriser la capacité d'adaptation des écosystèmes afin que les futures générations puissent vivre dans un environnement préservé. Le programme vise à mobiliser des acteurs publics et privés en faveur d'actions de préservation et restauration de la biodiversité, d'atténuation de changement climatique et d'adaptation des territoires à ce changement *via* la mise en œuvre de Solutions fondées sur la Nature (SfN).

42. <https://www.ipbes.net/>

43. <http://www.nature2050.com/programme-nature2050/presentation-nature2050/>

Principes fondateurs

Nature 2050 est fondé sur l'engagement partenarial de scientifiques, d'associations environnementales, d'entreprises, de collectivités et d'agences de l'État. Le Muséum national d'histoire naturelle (MNHM), les associations Ligue pour la protection des oiseaux (LPO) et France Nature Environnement (FNE), la Fondation Nicolas-Hulot pour la nature et l'homme (FNH), les Éco-maires, l'Agence française pour la biodiversité (Afb), l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) et un représentant du Comité scientifique de CDC Biodiversité forment ainsi le comité de pilotage du programme.

Nature 2050 repose sur la mobilisation volontaire des entreprises à agir concrètement pour la nature et le bien des générations futures. La majorité des secteurs de l'économie utilisent, directement ou indirectement, les ressources naturelles et les services écosystémiques tirés de ces écosystèmes et de leur fonctionnement. CDC-Biodiversité invite les entreprises, sensibles à la situation et en recherche d'un positionnement au regard d'une demande sociale de plus en plus prégnante, à repenser la manière dont elles peuvent participer tant à la lutte contre le dérèglement climatique qu'à la préservation de la biodiversité par un engagement financier. Nature 2050 souhaite être un outil répondant aux intérêts des entreprises à agir en faveur de la biodiversité (ancrage territorial, atténuation de leurs impacts, valorisation interne et externe de leur engagement, accompagnement technique, etc.) par la mobilisation des SfN⁴⁴. Depuis le lancement du programme en 2016, près de trente-cinq entreprises ont rejoint Nature 2050 en y contribuant à hauteur d'environ 3,5 millions d'euros. Sur l'année 2018, près de 600 000 € de nouvelles contributions ont été engagées sur le programme.

Modèle économique

À travers Nature 2050, CDC-Biodiversité s'engage pour tout 5 € versés aujourd'hui à restaurer, adapter au changement climatique et suivre jusqu'en 2050 1 m² de territoire en métropole ou en outre-mer. Ce financement se présente sur le mode du volontariat. Il ne se substitue en aucune façon aux obligations réglementaires éventuelles des entreprises et collectivités concernées, notamment au titre de la compensation écologique. CDC-Biodiversité propose aux contributeurs de calculer le montant de leur participation au programme sur une base forfaitaire, en cohérence avec leur politique RSE, ou bien sur la base d'indicateurs liés à leurs activités (m² d'emprise au sol, nombre de collaborateurs, consommation énergétique, etc.).

44. Les informations concernant les SfN financées par le programme Nature 2050 sont consultables à la bibliothèque de la mission « économie de la biodiversité » de CDC-Biodiversité.

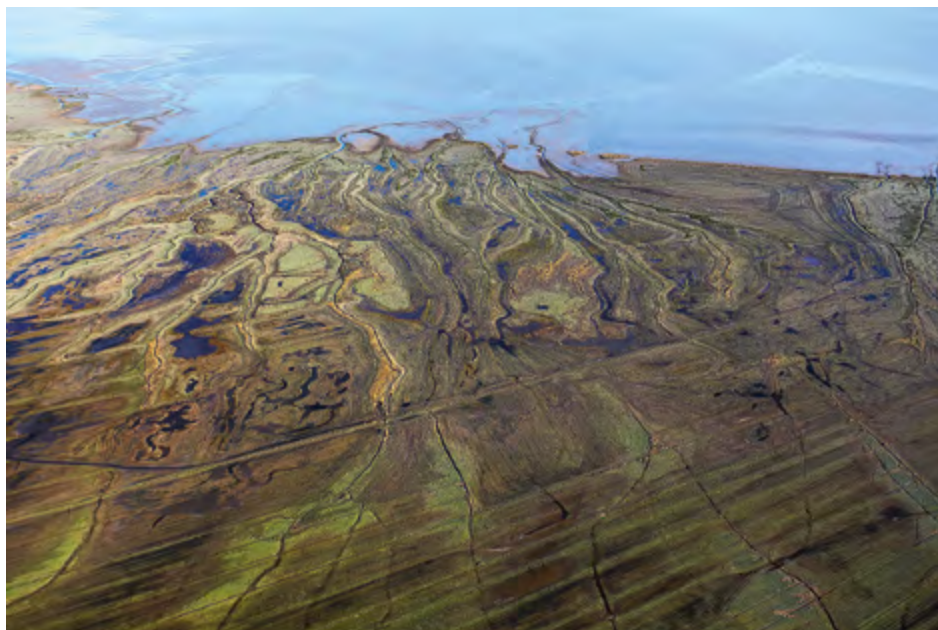


Figure I3 – Baie de l'Aiguillon (Vendée, Charente-Maritime), projet Nature 2050 de restauration écologique d'un écosystème côtier.

© A. Lamoureux.

● *Cadre d'intervention du programme*

Principes d'intervention

Les contributeurs et les bénéficiaires de Nature 2050 s'engagent à respecter les principes suivants :

Principe 1 : être engagé dans une démarche volontaire de développement durable ou projetant de le faire à court ou moyen terme, au-delà de leurs obligations réglementaires.

Principe 2 : mettre en œuvre des SfN, en particulier celles concourant à l'augmentation de la résilience des écosystèmes face au dérèglement climatique.

Principe 3 : privilégier des actions répondant aux enjeux régionaux et s'inscrivant dans des projets de territoire afin de renforcer la cohérence et la synergie des politiques environnementales des territoires.

Principe 4 : sécuriser la pérennité des actions jusqu'en 2050 et au-delà afin de garantir l'avenir des activités humaines et des territoires qui s'inscrivent dans une logique de soutenabilité écologique et de durabilité socio-économique.

Principe 5 : évaluer les résultats et les impacts des actions menées dans leur dimension écologique et socio-économique pour mesurer leur potentiel de reproductibilité à des échelles larges.

Principe 6 : améliorer l'état des connaissances en s'appuyant sur une démarche scientifique dans la conduite du programme et des projets.

Principe 7 : partager les connaissances et communiquer sur le programme.

Cinq cibles d'actions

Les projets Nature 2050 sont identifiés par CDC-Biodiversité en concertation avec les acteurs locaux : associations, collectivités et propriétaires privés. Le comité de pilotage de Nature 2050, qui se réunit trois à quatre fois par an, veille à la cohérence scientifique et écologique des actions menées ainsi qu'au respect de l'ambition de Nature 2050. Le Comité a défini cinq cibles prioritaires d'actions.

a) Les zones humides

Les rivières, estuaires, zones côtières, mangroves jouent un rôle d'éponges en cas de crues, de réservoirs lors des périodes de sécheresse, de filtres en épurant les eaux polluées. Ce sont de réels amortisseurs climatiques qui protègent contre les crues et les canicules estivales.

b) Les continuités écologiques

La faune et la flore sauvages ont besoin d'espaces de taille suffisante pour se reproduire, se nourrir, s'abriter. Ces espaces naturels doivent également être connectés pour permettre les échanges entre les populations. Cette nécessité est encore renforcée par le changement climatique qui entraîne déjà aujourd'hui et qui continuera d'entraîner des déplacements d'espèces vers le nord⁴⁵.

c) La transition des espaces forestiers et agricoles

Même si le changement climatique n'a pas que des effets négatifs, de nombreuses forêts et cultures ne seront plus adaptées au climat annoncé dès le milieu du siècle. Cela occasionnera de profondes mutations qui doivent être anticipées.

d) La biodiversité en ville

L'extension urbaine, le réchauffement climatique, la nécessité de préserver la biodiversité exigent la constitution au cœur des villes, de nouvelles infrastructures vertes. Elles permettent de répondre au besoin de nature des citoyens, de renforcer les services naturels (réduction des îlots de chaleur, régulation hydrique, épuration de l'air, approvisionnement – agriculture urbaine) et de maintenir la diversité biologique.

45. La chenille processionnaire du pin s'est déplacée de 4 km/an vers le nord durant les dix dernières années (indicateur de l'Onerc sur l'évolution du front d'expansion de la chenille processionnaire du pin dans le bassin Parisien entre 1972 et 2014).

base d'indicateurs et, dans un second temps, à maintenir ou réorienter les actions menées au regard de l'analyse de ces indicateurs. Cette évaluation s'appuie sur cinq critères : la pertinence des actions au regard des besoins identifiés et des attentes des bénéficiaires, la cohérence et complémentarité du programme avec d'autres initiatives, l'efficacité des actions, l'efficience des solutions choisies en termes de coûts et de délais, et la pérennité des actions et des effets.

CDC-Biodiversité souhaite s'assurer que les SfN s'inscrivent dans le long terme en raison de la temporalité particulière du changement climatique et de l'évolution des écosystèmes.

Indicateurs

Le Comité scientifique de CDC-Biodiversité et le comité de pilotage de Nature 2050, en lien avec les porteurs de projets, ont défini des indicateurs pertinents pour mesurer les effets des actions Nature 2050 sur les sites restaurés jusqu'en 2050.

À l'échelle nationale, deux « indicateurs programme » applicables à l'ensemble des projets en milieu terrestre permettent de mesurer l'impact du programme Nature 2050 sur l'ensemble du territoire : le taux de carbone organique dans les sols et la quantité d'azote (isotope 15) dans la biomasse. Le taux de carbone organique dans les sols reflète la santé de l'écosystème et la capacité de celui-ci à capter le CO₂ de l'air. L'azote 15 dans les feuilles témoigne de la capacité d'un écosystème à recycler les éléments et donc à être résilient face à des variations extérieures climatiques.

Des suivis spécifiques à chaque projet Nature 2050 ont également été mis en place : ce sont les « indicateurs projets ». À travers ces indicateurs, CDC-Biodiversité souhaite accompagner les porteurs de projets dans la compréhension du fonctionnement de leurs sites et dans leur gestion sur le long terme. Ces indicateurs portent sur trois thématiques : biodiversité, adaptation au changement climatique et impact socio-économique.

Les indicateurs biodiversité renseignent sur l'état et l'évolution de la biodiversité (ordinaire et remarquable), et passent par la mesure de la richesse ou de l'abondance des espèces et des communautés présentes en situation avant et après projet, de l'état des écosystèmes, des processus écologiques et des services. Certains projets seront suivis selon les protocoles de sciences participatives Vigie Nature du Muséum national d'histoire naturelle.

En ce qui concerne le climat, le suivi porte par exemple sur les données météorologiques sur le site.

L'évaluation socio-économique mesure le rayonnement des projets sur le territoire ainsi que la résilience et la viabilité socio-économique des activités humaines et des territoires initiant et mettant en œuvre des SfN.

Chapitre J

Pistes à explorer et recommandations

Cette partie a été écrite par l'ensemble des auteurs du rapport.

© Arnaud Bouissou/Terra.



Résilience aux impacts du changement climatique

– **Mettre en œuvre des Solutions fondées sur la Nature (SfN) qui tiennent compte des projections climatiques régionalisées, au regard des impacts observés ou prévisibles du changement climatique sur la biodiversité.**

Ainsi, les espèces et écosystèmes mobilisés dans les projets de SfN devront être adaptées au climat actuel et futur de la zone climatique où ils sont situés, notamment pour les espèces à longue durée de vie (arbres, arbustes).

– **Approfondir la recherche pour accompagner les décideurs et financeurs dans le choix des espèces à mobiliser dans le cadre des Solutions fondées sur la Nature envisagées.**

– **Mettre en œuvre des Solutions fondées sur la Nature qui favorisent les associations de différentes espèces pour augmenter leur résilience aux événements extrêmes, climatiques et météorologiques.**

Recherche

– **Poursuivre les recherches sur le fonctionnement des écosystèmes et leur capacité de résilience aux impacts du changement climatique.**

– **Poursuivre la R&D dans le domaine de la restauration écologique.**

– **Renforcer le rôle de chef de file de la France sur les Solutions d'adaptation fondées sur la Nature dans le domaine de la recherche et de l'innovation.**

– **S'appuyer sur le pôle d'animation¹ qui sera créé en 2021 en lien avec le futur Office français de la biodiversité² pour favoriser le lancement de projets de R&D sur des Solutions d'adaptation fondées sur la Nature.**

La mise en place de ce pôle d'animation devrait au préalable reposer sur la mise en lien des centres de ressources et des réseaux existants tels que le centre de ressources du génie écologique, porté par l'Agence française pour la biodiversité, le site Internet de l'Union internationale pour la Conservation de la nature (UICN), le site internet de l'Union des professionnels du génie écologique (UPGE), le site Internet de l'association fédérative des acteurs de l'Ingénierie et du génie écologiques (A-IGÉco)...

1. Conclusions des assises de l'eau, Action 11 « Renforcer l'utilisation des Solutions fondées sur la Nature ».

2. La création de l'Office français de la biodiversité est issue de la fusion de l'Agence française pour la biodiversité (AFB) et de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS) qui aura lieu le 1^{er} janvier 2020.

Ressource en eau et milieux aquatiques

– **Donner la priorité aux Solutions fondées sur la Nature dans les politiques de l'eau (désartificialisation des sols, désimperméabilisation, préservation des milieux humides, gestion alternative des eaux pluviales)³.**

– **Approfondir la recherche sur les effets positifs des Solutions fondées sur la Nature sur la préservation du cycle de l'eau face aux impacts du changement climatique.**

67 % des zones humides métropolitaines ont disparu depuis le début du xx^e siècle dont la moitié entre 1960 et 1990. Or les écosystèmes aquatiques peuvent jouer un rôle dans la réduction des impacts du changement climatique : ils jouent un rôle majeur dans la régulation du climat puisqu'ils permettent de retenir l'eau, limitant ainsi l'impact des crues et des sécheresses. Il convient donc de maintenir les écosystèmes aquatiques en bonne santé, améliorer leur gestion de façon durable, restaurer ceux qui sont dégradés tout en en créant de nouveaux.

Agriculture et forêt

– **Promouvoir et inciter à l'adoption de pratiques agro-écologiques (ex. : assolements diversifiés et filières locales associées) en tant que Solutions fondées sur la Nature pour l'adaptation de l'agriculture aux impacts du changement climatique.**

L'intégration de pratiques agro-écologiques dans les politiques nationales et l'implication des acteurs privés (construction de filières valorisant les productions réalisées via ces pratiques) peuvent constituer des leviers à mobiliser.

– **Soutenir les agriculteurs dans la mise en place de pratiques agro-écologiques comme Solutions fondées sur la Nature répondant aux enjeux environnementaux, dont le changement climatique.**

Continuer par exemple à soutenir les collectifs d'agriculteurs (comme les GIEE⁴) qui s'engagent dans la transformation de leur système de production et l'évolution du conseil agricole (ne plus apporter une solution clé en main mais accompagner les agriculteurs dans la mise en place de leur système vers une meilleure performance et résilience).

– **Favoriser la présence de haies autour des parcelles agricoles en tant que Solutions fondées sur la Nature pour l'adaptation de l'agriculture aux impacts du changement climatique.**

3. Conclusions des assises de l'eau, Action 11 «Renforcer l'utilisation des Solutions fondées sur la Nature».

4. Les groupes d'intérêt économique et environnemental (GIEE), mis en place par la loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt d'octobre 2014, sont des collectifs d'agriculteurs reconnus par l'État qui s'engagent dans un projet pluriannuel de modification ou de consolidation de leurs pratiques en visant à la fois des objectifs économiques, environnementaux et sociaux. (Source : ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation).

Les haies génèrent un microclimat favorable aux récoltes, permettent de lutter contre les phénomènes de ruissellement et de ralentir les flux d'eau en retenant les particules de terre... Il s'agirait de redonner de la valeur aux haies, en s'inspirant du développement d'outils pour valoriser la production locale de bois énergie à partir du bocage.

– Encourager le développement de l'agroforesterie en tant que Solution d'adaptation fondée sur la Nature.

Il s'agit de promouvoir un modèle d'agroforesterie respectueux de la biodiversité locale du territoire, comme c'est l'ambition de la marque « végétal local » qui permet de planter des plantes et arbres adaptés au territoire et respectant la ressource génétique (à travers des outils de traçabilité).

– Encourager le développement de la gestion multifonctionnelle et durable des forêts comme Solution d'adaptation fondée sur la Nature.

Développer la multifonctionnalité dans la gestion de la forêt, à travers des documents de gestion sylvicole avec garantie de gestion durable, permet de valoriser le patrimoine forestier tout en préservant la biodiversité et les habitats forestiers, la qualité des sols et de l'eau, l'amélioration des capacités d'accueil du public, la protection contre les impacts du changement climatique, et la conservation de la qualité des paysages et des richesses culturelles associées.

Évaluation socio-économique

– Passer en revue les dispositifs d'évaluation des projets d'aménagement et de leurs financements afin d'identifier et prévenir les biais contre les Solutions d'adaptation fondées Nature des méthodes d'évaluation actuelles.

– Renforcer l'élaboration de projets et documents stratégiques sur les territoires qui intègrent et articulent des enjeux exprimés à différentes échelles et qui contiennent des objectifs environnementaux spécifiques, mesurables, acceptés et réalistes, notamment en matière d'adaptation au changement climatique et de préservation de la biodiversité.

– Évaluer les coûts et les avantages associés à l'atteinte de ces objectifs de projets territoriaux, y compris les coûts associés au déploiement des Solutions d'adaptation fondées sur la Nature.

– Expérimenter le déploiement de Solutions d'adaptation fondées sur la Nature dans une logique de recherche-action prévoyant la conception et le déploiement conjoints d'une action, d'une acquisition de connaissances et des ajustements de l'action en conséquence.

– Poursuivre le renforcement des capacités d'évaluation socio-économique à l'échelle nationale (méthodes et valeurs de référence), notamment en ce qui concerne les atouts des Solutions fondées sur la Nature pour l'adaptation au

changement climatique (services écosystémiques, robustesse, valeurs d'options, etc.).

– Systématiser la réflexion autour de la mise en œuvre des Solutions fondées sur la Nature, non pas seulement comme des « alternatives », mais comme des solutions concrètes à des problématiques importantes.

– Systématiser le chiffrage des retombées économiques, sociales et environnementales des Solutions fondées sur la Nature pour légitimer leur mise en œuvre dans les territoires.

Financement

– Diversifier les sources de financement pour les projets de Solutions d'adaptation fondées sur la nature.

La mobilisation des ressources budgétaires pour financer les projets de préservation, restauration ou gestion durable des écosystèmes constitue un point central pour la mise en place de SfN, dont les opérations s'étalent sur plusieurs années. Ces financements doivent pouvoir garantir la pérennité du projet et donc s'inscrire sur le long terme. En soulignant la contribution des projets de SfN à l'adaptation au changement climatique, ces projets peuvent élargir à des sources de financements différentes de celles classiquement dédiées aux projets de préservation de la biodiversité telles que :

- les financements des projets « climat » (plans climat...);
- les outils de financements des projets « prévention des risques naturels »;
- les fonds et programmes de financements européens (Fesi, LIFE, Interreg, Horizon 2020...);
- les outils spécifiques aux SfN (appel à projets de la Commission européenne, le programme Nature 2050...).

D'autres types d'outils financiers peuvent être utilisés pour soutenir les SfN. En voici quelques exemples qu'il serait intéressant de développer au sein des projets de SfN : obligations vertes et obligations climat, éco-conditionnalité des aides publiques, Mécanisme de financement du capital naturel, financement participatif.

– Renforcer le recours aux paiements pour services environnementaux (PSE) pour le financement de Solutions d'adaptation fondées sur la Nature.

Un intérêt certain pour les PSE est constaté, que ce soit par l'État (inscription dans le plan biodiversité et ambition française de la future PAC), les collectivités territoriales ou les entreprises. Et il existe déjà des cas de PSE qui accompagnent la gestion des haies et rémunèrent les exploitants, ou qui rémunèrent les forestiers pour des pratiques sylvicoles allant au-delà des documents de garantie de gestion durable en finançant par exemple une diversification des essences des peuplements forestiers.

Freins institutionnels et culturels

– Lever la défiance vis-à-vis des Solutions d'adaptation fondées sur la Nature en mettant en place un suivi de leur efficacité à partir d'indicateurs spécifiques.

Pour convaincre les décideurs et les gestionnaires de l'intérêt de la mise en place d'une SfN, les bénéfices et les résultats issus de ces projets doivent être mesurables et vérifiables pour justifier de leur pertinence par rapport à d'autres types de solutions. Pour cela, il convient de définir, dès la conception du projet, les indicateurs et les modalités spécifiques de suivi à mettre en place, avec leur fréquence et les moyens associés. Ces suivis devront être prévus pour mesurer l'efficacité des actions vis-à-vis du défi ciblé, en l'occurrence l'adaptation au changement climatique mais aussi de la préservation de la biodiversité. Les suivis mis en place doivent s'inscrire sur le moyen ou long terme. En effet, la restauration des écosystèmes est un processus qui nécessite souvent plusieurs années de recul avant de pouvoir pleinement en mesurer les résultats. De plus, elle implique de nombreux phénomènes multiparamétriques (échanges entre sol et plante, échanges gazeux, flux de matière, interactions trophiques...) qui fluctuent au cours du temps ce qui impose un suivi régulier et étalé dans le temps afin d'identifier les tendances générales au-delà des événements ponctuels. Les suivis permettront d'ajuster les actions à l'évolution du climat et des écosystèmes. La mesure des indicateurs définis au préalable doit également permettre d'évaluer l'effet des actions entreprises et de le comparer aux objectifs fixés dans le cadre du projet.

– Lever la défiance vis-à-vis des Solutions d'adaptation fondées sur la Nature en valorisant leurs nombreux cobénéfices et leur complémentarité avec des solutions d'ingénierie classique, et en montrant que, dans certains cas, les Solutions fondées sur la Nature peuvent être tout autant si ce n'est plus efficaces que des solutions d'ingénierie classique.

Les SfN sont conçues pour générer des bénéfices au moins égaux aux coûts qu'elles génèrent pour la société, voire supérieurs selon les cas, quels que soient les avantages apportés en matière de réduction des impacts du changement climatique. Elles sont également conçues pour être adaptatives et réversibles car elles ne font pas appel à des infrastructures lourdes et impactantes. En plus des bénéfices directs en termes d'adaptation au changement climatique, investir dans les SfN permet de profiter de multiples cobénéfices indirects tels que :

- la préservation de la biodiversité ;
- le maintien ou l'amélioration du paysage ;
- l'amélioration du cadre de vie et de la santé ;
- le développement d'activités de loisirs ou de tourisme durable ;
- le maintien ou diversification d'activités économiques durables.

Ces avantages doivent être mieux connus et pris en compte dans les décisions. Pour cela, des évaluations des services fournis par les écosystèmes peuvent être menées et fournir des éléments qualitatifs et quantitatifs d'aide à la décision pour les acteurs du territoire. Ces évaluations peuvent être des évaluations environnementales et/ou économiques.

– Lever la défiance vis-à-vis des Solutions d'adaptation fondées sur la Nature en intégrant le concept et les pratiques associées dans la formation des acteurs concernés par l'adaptation au changement climatique (climat, biodiversité, eau, urbanisme, prévention des risques, forêt, agriculture...).

Portage politique

– Favoriser les Solutions fondées sur la Nature en tant que solutions rentables pour atteindre les objectifs de développement durable, notamment dans les villes⁵.

– Mobiliser l'ensemble des acteurs publics et privés lors des grands rendez-vous internationaux sur la biodiversité, en France comme à l'étranger, sur les Solutions d'adaptation fondées sur la Nature, notamment en s'appuyant sur des initiatives comme le programme Nature 2050.

– Engager une réflexion stratégique intégrée basée sur une large concertation des acteurs.

Les SfN sont par définition transversales car, en plus de préserver la biodiversité, elles répondent à d'autres enjeux de société, en l'occurrence celui de l'adaptation au changement climatique. Autrement dit, les SfN abordent les problématiques du climat et de la biodiversité au sein des mêmes projets. Ces solutions nécessitent donc une planification territoriale avec une large association des acteurs locaux et la mise en place d'un processus de gouvernance permettant de partager et concilier les objectifs des projets. Le développement des SfN en tant que solutions transversales appelle une gouvernance et une coordination appropriées. Pour faciliter la mise en place des actions et leur acceptabilité, il est en effet nécessaire d'inviter à la fois les différents acteurs concernés d'un côté par les enjeux d'adaptation au changement climatique et de l'autre ceux impliqués dans la préservation de la biodiversité à participer et dialoguer dès la conception du projet (à partir des études de faisabilité par exemple). La gouvernance mise en place doit favoriser la concertation et le partage des connaissances et la montée en compétences entre les acteurs de la biodiversité et de l'adaptation au changement climatique (climat, risques naturels, aménagement du territoire, agriculture, santé...) et permettre la pérennité des projets et leur suivi sur le long terme. Elle doit associer une expertise variée et être en adéquation avec les enjeux et contextes du projet. En effet, les SfN peuvent être mises en place grâce à différents écosystèmes, et dans différents contextes environnementaux et socio-économiques. Enfin, l'association large des acteurs du territoire permet d'élargir un projet de prévention des risques, par exemple, à un véritable projet de territoire, mettant en œuvre une gestion intégrée qui favorise les réflexions de solidarité amont-aval et rural-urbain dans les projets.

5. Rapport IPBES, (2019); SRCCL, (2019).

– Intégrer les Solutions fondées sur la Nature dans les conventions, stratégies et plans ayant des objectifs d'adaptation au changement climatique.

Les SfN permettent de décroisonner les politiques sectorielles en croisant les enjeux et les acteurs. Une des façons de mettre en œuvre ce décroisonnement est de renforcer la mise en œuvre de ces solutions au sein des conventions, stratégies et plans visant des actions d'adaptation au changement climatique (ex. : Plan climat national, Plan national d'adaptation au changement climatique, Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, Cadre d'action de Sendai sur les risques naturels, Objectifs de développement durable...).

Ceci permet aux acteurs non experts de la biodiversité d'avoir connaissance d'autres options d'aménagement du territoire que celles utilisant des infrastructures d'ingénierie civile et donc de légitimer ces Solutions fondées sur la Nature comme alternative pertinente.

Conclusion

Le concept de Solutions fondées sur la Nature (SfN) est en phase avec celui de l'adaptation au changement climatique, qui s'inscrit dans le long terme et qui nécessite des ajustements permanents. Les SfN sont conçues pour être adaptatives et réversibles car elles ne doivent pas faire appel à des infrastructures lourdes et impactantes. Ce qui leur confère cette souplesse compatible avec une démarche d'adaptation au changement climatique. Par ailleurs, le concept de SfN a ceci de stratégique qu'il permet, en regroupant de nombreuses pratiques s'appuyant sur le rôle joué par les écosystèmes, de leur donner une meilleure visibilité face aux pratiques d'ingénierie classique qui sont plus largement utilisées.

Bien qu'il soit important de poursuivre les travaux de recherche sur les SfN, on dispose déjà aujourd'hui d'un socle de connaissances suffisant pour montrer que dans de nombreuses situations elles peuvent apporter des réponses pour s'adapter au changement climatique.

De plus, la France possède de nombreux savoirs et savoir-faire dans des domaines variés sur lesquels s'appuyer pour renforcer l'offre de Solutions d'adaptation fondées sur la Nature : gestion souple des dunes, modélisation de l'impact de la végétalisation sur le micro-climat urbain, modélisation de l'efficacité et du ratio coûts/bénéfices des SfN face aux catastrophes naturelles, restauration écologique... Face à chaque type d'impact du changement climatique il existe au moins un si ce n'est plusieurs types de SfN. Face aux précipitations intenses, les prairies humides permettent par exemple de réduire l'exposition au risque accru d'inondation en agissant comme des espaces tampons qui stockent les excès d'eau. Face à l'augmentation croissante de l'érosion du littoral et au risque accru de submersion marine avec la montée du niveau de la mer, les dunes et les mangroves forment des barrières naturelles qui protègent les côtes. Face aux canicules, la plantation d'arbres et la mise en place d'infrastructures vertes tels que les réseaux d'espaces verts en ville permettent de réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain. Face aux sécheresses, le recours à des pratiques d'agroforesterie contribue à rendre les cultures plus résilientes et crée un micro-climat plus favorable pour l'élevage. La restauration et la gestion durable d'une mosaïque de milieux ouverts au sein des massifs forestiers, grâce au pastoralisme notamment, diminuent les risques d'incendies de forêts. En montagne, la gestion durable des forêts permet de réduire les glissements de terrain en renforçant la cohésion des couches superficielles du sol, stabilisant ainsi les versants.

Outre les connaissances et compétences nécessaires à la mise en œuvre de Solutions d'adaptation fondées sur la Nature, il existe également de nombreux outils de planification qui peuvent soutenir leur développement. Au niveau stratégique, de nombreuses doctrines (agro-écologie, gestion durable des forêts, gestion intégrée du trait de côte, etc.) sont fondées sur une gestion durable des écosystèmes favorisant ainsi la promotion des Solutions d'adaptation fondées

sur la Nature. Au niveau opérationnel, certains plans vont jusqu'à promouvoir directement le recours aux SfN pour l'adaptation au changement climatique (Plan Biodiversité, PNACC-2). Et d'autres plans et schémas d'aménagement permettent même de relever conjointement les défis liés au changement climatique et à la biodiversité (ex. : SRADDET).

Par ailleurs, certains outils tels que les principes du droit de l'environnement, les normes, l'évaluation socio-économique ou les programmes de financement européens peuvent se révéler très utiles pour renforcer le recours aux SfN dans la mise en œuvre des politiques publiques. Dans la perspective d'une mobilisation accrue des SfN pour s'adapter aux impacts du changement climatique, ces outils sont des pistes à explorer.

Face au changement climatique qui menace directement les populations et qui renforce les nombreuses pressions causées par des siècles d'artificialisation et de pollution des territoires, des solutions alternatives aux solutions grises émergent dans les différents secteurs impliqués dans l'adaptation au changement climatique (gestion des risques, gestion de l'eau, agriculture, etc.). Ces solutions font appel à des concepts, des savoirs et des pratiques différents et parfois complémentaires de ceux qui dominent dans ces différents secteurs. Ainsi, développer les SfN ouvre le champ d'action de l'adaptation au changement climatique.

Bibliographie

Ouvrages

- AcclimaTerra, (2018), *Anticiper les changements climatiques en Nouvelle-Aquitaine. Pour agir dans les territoires*, sous la direction d'Hervé Le Treut, Éditions région Nouvelle-Aquitaine, 488 p.
- Afnor, (2012), Norme NF 10-900, *Méthodologie de conduite de projet appliqué à la préservation et au développement des habitats naturels – zones humides et cours d'eau*, Afnor, 38 p.
- Agence parisienne du climat et Météo-France, (2018), *L'îlot de chaleur urbain à Paris*.
- Agence régionale de la biodiversité en Île-de-France, (2015), *Climat : la nature comme source de solutions en Île-de-France, recueil de propositions pour contribuer aux débats à l'occasion de la 21^e Conférence des parties de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (COP21)*, 20 p.
- Ahern J., (2007), "Green infrastructure for cities: The spatial dimension", in Novotny V., Brown P. (Eds.), *Cities of the Future Towards Integrated Sustainable Water and Landscape Management*, London, IWA Publishing, p. 267-283.
- Amérigo M., García J.A. et Sánchez T., (2013), "Actitudes y comportamiento hacia el medio ambiente natural. Salud medioambiental y bienestar emocional", *Universitas Psychologica*, vol. 12, n° 3.
- Andrade Pérez A., Herrera Fernandez B. et Cazzolla Gatti R., (2010), *Building Resilience to Climate Change: Ecosystem-based adaptation and lessons from the field*. Gland, Switzerland, IUCN.
- Asano T., (1985), *Artificial Recharge of Groundwater*, Butterworth Publishers, Boston, 767 p.
- ASTEE, (2018), *Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques, Pour qui ? Pour quels bénéfices ?* ouvrage collectif piloté par l'ASTEE, Rey F. (coord.) et soutenu par l'Agence française pour la biodiversité, volume 2, 134 p.
- Aubert M.-H., Guerber F., Brugiére-Garde Y. et Dereix C., (2017), *Préservation de l'élevage extensif, gestionnaire des milieux humides*, Rapport CGEDD, n° 010813-01, CGAAER, n° 16100.
- Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, BCN Ecologia, (2007), *Plan de Movilidad y Espacio Público en Vitoria-Gasteiz*.
- Bar-On Y. M., Phillips R. et Milo R., (2018), "The biomass distribution on Earth", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, n° 25, p. 6506-6511.
- Barot S., Lata J.-C. et Lacroix G., (2012), "Meeting the relational challenge of ecological engineering within ecological sciences", *Ecological Engineering*, vol. 45, p. 13-23.

Benedict M.A., McMahon E.T., (2002), *Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21 st Century*, The Conservation Fund: Sprawl Watch Clearinghouse Monograph Series.

Benedict M.A., McMahon E.T., (2006), *Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities*, Washington, DC: Island Press.

Berland A., Shiflett S. A., Shuster W. D., Garmestani A. S., Goddard H. C., Herrmann D. L. et Hopton M. E., (2017), "The role of trees in urban stormwater management", *Landscape and Urban Planning*, vol. 162, p. 167-177.

Bertoldo R.S., Bousfield, A.B., (2011), « Représentations sociales du changement climatique : effets de contexte et d'implication », *Temas em Psicologia*, vol. 19, n° 1, p. 121-137.

Blandin P., (2009), *De la protection de la nature au pilotage de la biodiversité*, Versailles, Éditions Quae.

Bockarjova M., Wouter Botzen W.J., (2017), *Review of economic valuation of nature-based solutions in urban areas*, Deliverable 1.3 Part III, Naturvation.

Bordereaux L., Roche C., (2019), « Littoral et milieux marins », *Revue juridique de l'environnement*, n° 2, p. 379-398.

Boston Consulting Group, (2009), *Réflexions sur le portefeuille de mesures Grenelle environnement*.

Bouwer H., (2002), "Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering", *Hydrogeology Journal*, vol. 10, n° 1, p. 121-142.

Bowler D.E., Buyung-Ali L., Knight T.M. et Pullin A.S., (2010), "Urban greening to cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence", *Landscape and Urban Planning*, vol. 97, n° 3, p. 147-155.

Bucchignani E., Mercogliano P., Montesarchio M. et Zollo A.L. (2017), "Numerical Simulation of the Period 1971-2100 over the Mediterranean Area with a Regional Model, Scenario SRES-A1B", *Sustainability*, vol. 9, n° 12, 2192 p.

Bucchignani E., Montesarchio M., Zollo A. L. et Mercogliano P., (2016), "High-resolution climate simulations with COSMO CLM over Italy: performance evaluation and climate projections for the 21st century", *International Journal of Climatology*, vol. 36, n° 2, p. 735-756.

Bueno B., Pigeon G., Norford L., Zibouche K. et Marchadier C., (2012), "Development and evaluation of a building energy model integrated in the TEB scheme", *Geoscientific Model Development*, vol. 5, p. 433-448.

Canoui-Poitrine F., Cadot E. et Spira A., (2005), "Excess deaths during the August 2003 heat wave in Paris, France", *Revue d'épidémiologie et de santé publique*, vol. 54, n° 2, p. 127-35.

CDM Smith, (2018), *Pontilly Stormwater Hazard Grant Mitigation Program (HMGP). Project Model Revisions and Upstream/Downstream Analysis. Appendix A Hydrologic and Hydraulic Study*.

Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU), (2010).

- Centre d'observation de la société, (2019), « La part de la population vivant en ville plafonne depuis dix ans ».
- Centro de estudios ambientales, Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, (2012), « El anillo verde interior. Hacia una Infraestructura Verde Urbana en Vitoria-Gasteiz », *La Infraestructura verde urbana de Vitoria-Gasteiz*.
- Cohen-Shacham E., Andrade A., Dalton J., Dudley N., Jones M., Kumar C., Maginnis S., Maynard S., Nelson C., Renaud F., Welling R. et Walters G., (2019), “Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions”, *Environmental Science and Policy Journal*, vol. 98, p. 20-29.
- Cohen-Shacham E., Walters G., Janzen C. et Maginnis S., (2016), *Nature-Based Solutions to Address Societal Challenges*, Gland, Switzerland, International Union for Conservation of Nature.
- Colombert M., Boudes P., (2012), « Adaptation aux changements climatiques en milieu urbain et approche globale des trames vertes », *VertigO*, vol. 12.
- Comitato per il Capitale Naturale, (2018), *Secondo rapporto sullo stato del capitale naturale in Italia*.
- Commissariat général au développement durable, (2016), *EFESE – Rapport intermédiaire*, coll. « Théma Analyse ».
- Commissariat général au développement durable, (2018), *Analyse multicritère des projets de prévention des inondations – guide méthodologique 2018*, coll. « Théma Références ».
- Commissariat général au développement durable, (2018), *EFESE – le service de régulation de l'érosion côtière en Aquitaine*, coll. « Théma Analyse ».
- Commissariat général au développement durable, Agence française de la biodiversité, Observatoire national de la biodiversité, (2018), *Biodiversité, les chiffres clés – édition 2018*.
- Commission européenne, (2013), *Stratégie de l'UE relative à l'adaptation au changement climatique*, communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions.
- Commission internationale de la pêche dans le Léman, (2013), *Gestion des salmonidés dans le Léman, Corégone, omble et truite*.
- Conseil économique social et environnemental, (2017), *La justice climatique : enjeux et perspectives pour la France*, rapport présenté par Jean Jouzel et Agnès Michelot, Paris, JORF.
- Conseil économique social et environnemental, (2018), *La nature en ville : comment accélérer la dynamique ?*, rapport présenté par Annabelle Jaeger, Paris, JORF.
- Convention sur la diversité biologique (2009), *Liens entre la biodiversité, l'atténuation et l'adaptation aux changements climatiques*, Rapport du deuxième Groupe spécial d'experts techniques sur la diversité biologique et les changements climatiques, Montréal, secrétariat de la Convention sur la diversité biologique.
- Córdoba Hernández R., Fernández Áñez V. et Lotta, F., (2015), « Funzioni ecologiche ed infrastrutture verdi in città : Vitoria-Gasteiz », *Scienze del Territorio*, vol. 3, p. 240-249.

- Costanza R., (2008), "Natural capital", *The Encyclopedia of Earth*.
- Crauderueff R., Margolis S. et Tanikawa S., (2012), *Greening Vacant Lots: Planning and Implementation Strategies, A report prepared for The Nature Conservancy as part of the NatLab collaboration*, New York City Soil & Water Conservation District.
- Dantec R., (2016), *Sur la réalité des mesures de compensation des atteintes à la biodiversité engagées sur des grands projets d'infrastructures, intégrant les mesures d'anticipation, les études préalables, les conditions de réalisation et leur suivi*, Rapport n° 517 (2016-2017), Sénat.
- Davies C., MacFarlane R., McGloin C. et Roe M., (2006), *Green Infrastructure Planning Guide*, Annfield Plain, North East Community Forest.
- De Groot R.S., (1992), *Functions of nature: evaluation of nature in environmental planning, management and decision making*, Groningen (NL), Wolters-Noordhoff.
- De Groot R.S., Alkemade R., Braat L., Hein L. et Willemen L., (2010), "Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making", *Ecological Complexity*, vol. 7, p. 260-272.
- De Munck C., Lemonsu A., Bouzoudja R., Masson V. et Claverie R., (2013), "The GREENROOF module (v7.3) for modelling green roof hydrological and energetic performances within TEB", *Geoscientific Model Development*, vol. 6, p. 1941-1960.
- De Munck C., Lemonsu A., Cordeau E. et Nologues L., (2014), « Les stratégies de végétalisation pour aider la ville à faire face à la canicule », *Note rapide de l'IAU*, n° 662.
- De Munck C., Lemonsu A., Masson V., Le Bras J. et Bonhomme M., (2018), "Evaluating the impacts of greening scenarios on thermal comfort and energy and water consumptions for adapting Paris city to climate change", *Urban Climate*, vol. 23, p. 260-286.
- De Munck C., Pigeon G., Masson V., Meunier F., Bousquet P., Tréméac B., Merchat M., Poeuf P. et Marchadier C., (2012), "How much air conditioning can increase air temperatures for a city like Paris France?", *International Journal of Climatology*, vol. 33, n° 1, p. 210-227.
- Debray A., (2011), « La notion de réseau écologique en France : construction scientifique, appropriation par les politiques publiques et traduction territoriale », *VertigO*, « Débats et Perspectives ».
- Delannoy E., (2016), *La biodiversité, une opportunité pour le développement économique et la création d'emplois*, Rapport réalisé à la demande de Mme la ministre de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer.
- Dell'Acqua F., (2018), *Progettazione ambientale e climate adaptive design in ambito urbano. Strategie e sistemi di soluzioni tecniche nature-based per l'adattamento ai fenomeni di pluvial flooding e urban heatwave*. Tesi di Dottorato in Architettura (XXXI ciclo), Università degli Studi di Napoli Federico II, DiARC Dipartimento di Architettura.
- Descola P., (2005), *Par-delà nature et culture*.
- Diaz-Cruz M. S., Barcelo D., (2008), "Trace organic chemicals contamination in ground water recharge", *Chemosphere*, vol. 73, n° 3, p. 333-342.

- Dillon P. J., (2005), "Future management of aquifer recharge", *Hydrogeology Journal*, vol. 13, n° 1, p. 313-316.
- Dupuis J., Knoepfel P., (2011), « Les barrières à la mise en œuvre des politiques d'adaptation au changement climatique : le cas de la Suisse », *Swiss Political Science Review*, vol. 17, n° 2, p. 188-219.
- Dusza Y., (2017), *Toitures végétalisées et services écosystémiques : favoriser la multifonctionnalité via les interactions sols-plantes et la diversité végétale*, thèse de doctorat, université Pierre-et-Marie-Curie, France.
- Eggermont H., Balian E., Azevedo J.N., Beumer V., Brodin T., Claudet J., Fady B., Grube M., Keune H., Lamarque P., Reuter K., Smith M., Van Ham C., Weisser W. W., Le Roux X., (2015), "Nature-based solutions: new influence for environmental management and research in Europe", *Gaia*, vol. 24, n° 4, p. 243-248.
- Emilsson T., Sang A. O., (2017), "Impacts of Climate Change on Urban Areas and Nature-Based Solutions for Adaptation", in N. Kabisch, H. Korn, J. Stadler, A. Bonn, (2016), *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas*, p. 15-27.
- EPICEA, (2012), *Étude pluridisciplinaire des impacts du changement climatique à l'échelle de l'agglomération parisienne*, Projet de recherche « Paris 2030 », Rapport final.
- European Commission – Directorate-General for Research and Innovation, (2015), *Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities*, Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on "Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities", Luxembourg, Publications Office of the European Union.
- European Commission – Directorate-General for Research and Innovation, (2018), *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services, An analytical framework for mapping and assessment of ecosystem condition in EU*, Luxembourg, European Commission.
- European Commission, (2011), *Our life insurance, our natural capital: an EU biodiversity strategy to 2020*, Communication from the commission to the European parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions [COM(2011) 244 final], Brussels, European Commission.
- European Commission, (2013), *An EU Strategy on adaptation to climate change*, Communication from the commission to the European parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, European Commission.
- European Commission, (2013), *Building a Green Infrastructure for Europe*, Luxembourg, European Commission.
- European Commission, (2013), *Green Infrastructure (GI) – Enhancing Europe's Natural Capital*, Communication from the commission to the European parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions [COM (2013) 249 final], Brussels, European Commission.
- European Commission, (2013), *Technical information on Green Infrastructure (GI)*, Accompanying the document: Green infrastructure (GI) – enhancing Europe's

natural capital, Communication from the commission to the European parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, European Commission.

European Commission, (2014), *Living well, within the limits of our planet*, General Union Environment Action Programme to 2020, Luxembourg, European Commission.

European Commission, (2016), *Horizon 2020 work programme 2016-2017, 12. Climate Action, environment, resource efficiency and raw materials*, Luxembourg, European Commission.

European Commission, (2018), *Climate change adaptation, Research, Science and Innovation, Informing decisions, providing solutions*, Luxembourg, European Commission.

European Commission, Directorate General for Regional Policy, (2011), *Cities of tomorrow – Challenges, visions, ways forward*, Luxembourg, Publications Office of the European Union.

European Environment Agency, (2011), *Green infrastructure and territorial cohesion. The concept of green infrastructure and its integration into policies using monitoring systems*.

European Environment Agency, (2015), *The European environment – state and outlook 2015: synthesis report*.

European Environment Agency, (2017), *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016, An indicator-based report*.

Evans, L., Milfont, T. et Lawrence, J., (2014), "Considering local adaptation increases willingness to mitigate", *Global Environmental Change*, vol. 25, p. 69-75.

FAO, (2001), *State of the world's forests*.

Firehock K., (2015), *Strategic green infrastructure planning: A multi-scale approach*, Washington, Island Press.

Fromard F., Michaud E. et Hossaert-McKey M., (2018), *Mangrove, une forêt dans la mer*, Paris, Cherche Midi, 168 p.

Gillard, M., Fleury-Bahi, G. et Navarro, O., (2019), "Flooding experience and assessment of climate change: implication of psychological distance, risk perception and place attachment", *Psychology*.

Golden H.E., Hoghooghi N., (2018), "infrastructure and its catchment-scale effects: an emerging science", *WIREs Water*, vol. 5, n° 1, 1254 p.

Gómez-Baggethun E., Barton D. N., (2013), "Classifying and valuing ecosystem services for urban planning", *Ecological economics*, vol. 86, p. 235-245.

Goren O., Lazar B., Burg A. et Gavrieli I., (2012), "Mobilization and retardation of reduced manganese in sandy aquifers: Column experiments, modeling and implications", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 96, p. 259-271.

Grau-Martinez A., Folch A., Torrento C., Valhondo C., Barba C., Domènech C., Soler A. et Otero N., (2018), "Monitoring induced denitrification during managed aquifer recharge in an infiltration pond", *Journal of Hydrology*, vol. 561, p. 123-135.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, (2014), *Changements climatiques 2014, Rapport de synthèse, résumé à l'intention des décideurs*, traduction française, 33 p.

Haines-Young R., Potschin M., (2010), "The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being", in D.G. Raffaelli, C.L.J. Frid (Eds.), *Ecosystem Ecology: A New Synthesis*, p. 110-139, New York, Cambridge University Press.

Hansen R., Pauleit S., (2014), "From Multifunctionality to Multiple Ecosystem Services? A Conceptual Framework for Multifunctionality in Green Infrastructure Planning for Urban Areas", *Ambio*, vol. 43, n° 4, p. 516-529.

Howard L., (1833), *The climate of London*, IAUC Edition.

Inouye D.W., Barr B., Armitage K.B. et Inouye B.D., (2000), "Climate change is affecting altitudinal migrants and hibernating species", *PNAS*, volume 97, n° 4, p. 1630-1633.

Institut de France, Académie des sciences, Lavorel S., Lebreton J.-D. et Le Maho Y. (dir.), (2017), *Les mécanismes d'adaptation de la biodiversité aux changements climatiques et leurs limites*, 157 p.

IPBES, (2019), *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services*.

IPCC, (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* [T.F. Stocker, D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et M. Midgley (eds.)], Cambridge and New York, Cambridge University Press, 1535 p.

IPCC, (2014), Annex II: Glossary [Mach K.J., S. Planton et C. von Stechow (eds.)]. In: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri et L.A. Meyer (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland, p. 117-130.

IPCC, (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, [C.B. Field , V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y. O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, R. Mastrandrea et L.L. White (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom et New York, NY, USA, 1132 p.

IPCC, (2018), *Global warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, [v. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, et T. Waterfield (eds.)], in Press.

IPCC, (2019), *Climate Change and Land. An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.*

IPCC, (2019), *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.*

IUCN, (2016), *Resolution 69 on Defining Nature-based Solutions (WCC-2016-Res-069)*, IUCN Resolutions, Recommendations and Other Decisions, World Conservation Congress Honolulu, Hawai'i, USA.

IUCN, (2017), *Issue brief: Marine Protected Areas and Climate change.*

Jeanson M., Dolique, F. et Antony E., (2018), *Processus morphodynamiques et sédimentaires dans les mangroves en érosion de Mayotte, océan indien*, VertigO, vol. 18, n° 2.

Jolivet S., (2012), « Les outils juridiques de sanctuarisation de la nature face à la diversité outre-mer », in E. Naïm-Gesbert, M. Maisonneuve et T. Aoustin, *La protection de la biodiversité en outre-mer : approches pluridisciplinaires*, Presses universitaires d'Aix Marseille, p. 151-173.

Kalra N., Hallegatte S., Lempert R., Brown C., Fozzard A., Gill S., et Shah A., (2014), *Agreeing on robust decisions: new processes for decision making under deep uncertainty*, The World Bank.

Kaplan R., (2001), "The nature of the view from home psychological benefits", *Environment and Behavior*, vol. 33, p. 507-542.

Kazmierczak A., Carter J., (2010), *Adaptation to climate change using green and blue infrastructure: A database of case studies*, GRaBS project, The University of Manchester.

Kervinio Y., Vergez A., (2018), « Agir face à la complexité des valeurs de la biodiversité – joindre les approches normative et « coût-efficacité » », *Annales des Mines – responsabilité et environnement*, vol. 92, p. 30-35.

Korn H., Stadler J., Zaunberger K et Bonn A., (2016), "Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action", *Ecology and Society*, vol. 21(2), p. 39.

Kroeger T., (2012), *Dollars and sense: economic benefits and impacts from two oyster reef restoration projects in the Northern Gulf of Mexico*, The Nature Conservancy.

Landscape Institute, (2009), *Green infrastructure: connected and multifunctional landscapes*, Position statement, Landscape Institute, London.

Leclercq F., Mimram M. et Nivet S., (2009), *Propositions du Groupe Descartes pour une initiative Paris métropole 2021*, Rapport de synthèse, 19 p.

Lemée C., Fleury-Bahi G. et Navarro O., (2019), « Solutions basées sur la nature et qualité de vie : une étude auprès d'habitants de Nantes » in S. Gaymard (Ed.), *Psychologie sociale appliquée aux grandes thématiques contemporaines*, Paris, L'Harmattan.

Lemonsu A., Beaulant A.-L., Somot S. et Masson V., (2014), "Evolution of occurrences of heat waves over the Paris basin (France) in the 21st century", *Climate Research*, vol. 61, p. 75-90.

- Lemonsu A., Masson V., Shashua-Bar L., Erell E. et Pearlmutter D., (2012), "Inclusion of vegetation in the Town Energy Balance model for modelling urban green areas", *Geoscientific Model Development*, vol. 5, p. 1377-1393.
- Lemonsu A., Viguié V., Daniel M. et Masson V., (2015), "Vulnerability to heat-waves: Impact of urban expansion scenarios on urban heat island and heat stress in Paris (France)", *Urban Climate*, Paris, Elsevier, vol. 14, p. 586-605.
- Lenoir J., Gégout J.-C., Marquet P.-A., de Ruffray P. et Brisse H., (2008), "A Significant Upward Shift in Plant Species Optimum Elevation During the 20th Century", *Science*, vol. 320, p. 1768-1771.
- Li H., Li M. et Si B., (2018), "Rooting depth controls potential groundwater recharge on hillslopes", *Journal of Hydrology*, vol. 564, p. 164-174.
- Lin B.B., Meyers J., Beaty R. et Barnett, G.B., (2016), "Urban Green Infrastructure Impacts on Climate Regulation Services in Sydney, Australia", *Sustainability*, vol. 8, n° 8, 788 p.
- Litrico I., Goldringer I. et Enjalbert J., (2015), « Plus-value de la diversité génétique intra-parcelle pour la stabilité de la production et autres services écosystémiques », *Innovations Agronomiques*, INRA, vol. 43, p. 7-18.
- Mace G., (2014), *Who's Conservation?*, *Science*, vol. 345, n° 6204, p. 1558-1560.
- Madre F., Vergnes A., Machon N. et Clergeau P., (2013), "A comparison of 3 types of green roof as habitats for arthropods", *Ecological Engineering*, vol. 57, p. 109-117.
- Maeng S.K., Sharma S.K., Abel C.D.T., Magic-Knezev A., Song K-G. et Amy G.L., (2012), "Effects of effluent organic matter characteristics on the removal of bulk organic matter and selected pharmaceutically active compounds during managed aquifer recharge: Column study", *Journal of Contaminant Hydrology*, p. 139-149.
- Malcevski S., Bisogni G.L., (2016), "Infrastrutture verdi e ricostruzione ecologica in ambito urbano e periurbano", *Techne*, vol. 11, p. 33-39.
- Marotta N., Zirilli O., (2015), *Disastri e catastrofi. Rischio, esposizione, vulnerabilità e resilienza*, Rimini: Maggioli, 172 p.
- Masson V., (2000), "A Physically-Based Scheme For The Urban Energy Budget In Atmospheric Models", *Boundary Layer Meteorology*, vol. 94, p. 357-397.
- Masson V., Lion Y., Peter A., Pigeon G., Buyck J. et Brun E., (2012), « "Grand Paris" : regional landscape change to adapt city to climate warming », *Climatic Change*, vol. 117, n° 4, p. 769-782.
- Mayer F.S., Frantz C.M., (2004), "The connectedness to nature scale: a measure of individuals feeling in community with nature", *Journal of Environmental Psychology*, vol. 24, n° 4, p. 503-515.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA), (2005), *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Washington, DC, Island Press.
- Mentens J., Raes D. et Hermy M., (2006), "Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?", *Landscape and Urban Planning*, vol. 77, p. 217-226.

Métropole de Lyon, (2017), *Plan Canopé 2017-2030, protéger et développer la forêt urbaine*, métropole de Lyon, DDUCV, voirie végétal nettoyage, Unité arbres et paysage.

Michel-Guillou E., Richard I. et Weiss K., (2017), « Évaluation locale d'un problème global : la représentation sociale du changement climatique en France et au Groenland », *Bulletin de psychologie*, vol. 2, n° 548, p. 117-129.

Michelot A., (2018) « La solidarité écologique ou l'avenir du droit de l'environnement », in D. Misonne (dir.), *À quoi sert le droit de l'environnement ? Réalité et spécificité de son apport au droit et à la société*, chapitre 1, Bruxelles, Bruylant, p. 27-45.

Milfont T., (2010), "Global warming, climate change and human psychology", in *Psychological Approaches to Sustainability*, New-York, Nova Science Publishers, 475 p.

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, (2011), *Stratégie nationale pour la biodiversité 2011-2020*.

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, (2012), *Première évaluation nationale des risques d'inondation – Principaux résultats – EPRI 2011*.

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, (2014), 3^e plan d'action national en faveur des milieux humides (2014-2018).

Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, en charge des relations internationales sur le climat, (2012), *Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, Programme d'actions 2017-2019*.

Ministère de la Transition écologique et solidaire, (2018), *Le Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC-2)*.

Ministère de la Transition écologique et solidaire, (2018), *Plan biodiversité*.

Minnig M., Moeck C., Radny D. et Schirmer M., (2018), "Impact of urbanization on groundwater recharge rates in Dübendorf, Switzerland", *Journal of Hydrology*, vol. 563, p. 1135-1146.

Mitsch W.J., (2012), "What is ecological engineering?", *Ecological Engineering*, vol. 45, p. 5-12.

Molla M.B., (2015), "Green Infrastructure Planning and Development for Sustainable Urban Development: A Literature Review", *International Journal of Environmental Sciences*, vol. 4, n° 2, p. 59-67.

Narayan S., Beck M. W., Reguero B. G., Losada I. J., Van Wesenbeeck B., Pontee N., Sanchirico J. N., Carter Ingram J., Lange G.-M., Burks-Copes K. A., (2016), "The Effectiveness, Costs and Coastal Protection Benefits of Natural and Nature-Based Defences", *PLOS ONE*, vol. 11, n° 5.

Naumann S., McKenna D., Timo K., Mav pages et Matt R., (2011), *Design, implementation and cost elements of Green Infrastructure projects*, Final report to the European Commission, DG Environment, Ecologic institute and GHK Consulting.

Navarro O., Tapia-Fonllem C., Fraijo-Sing B., Roussiau N., Ortiz-Valdez A., Guillard M., Wittenberg I. et Fleury-Bahi G., (in press 2019), "Connectedness to nature and its relationship with spirituality, wellbeing and sustainable behaviour", *Psychology*.

Obbard M. E., Cattet M. R. L., Howe E. J., Middel K. R., Newton E. J., Kolenosky G. B., Abraham K. F. et Greenwood C. J., (2016), "Trends in body condition in polar bears (*Ursus maritimus*) from the Southern Hudson Bay subpopulation in relation to changes in sea ice", *Artic Science*, vol. 2, p. 15-32.

OCDE, (2016), *Examens environnementaux de l'OCDE : France 2016*, examens environnementaux de l'OCDE, Paris, Éditions OCDE.

Olivos P., Aragonés J.I. et Navarro O., (2013), "Educación ambiental: itinerario en la naturaleza y su relación con conectividad, preocupaciones ambientales y conducta", *Revista Latinoamericana de Psicología*, vol. 45, n° 3, p. 503-513.

Ollivier P., Surdyk N., Azaroual M., Besnard K., Casanova J. et Rampnoux N., (2013), "Linking water quality changes to geochemical processes occurring in a reactive soil column during treated wastewater infiltration using a large-scale pilote experiment: Insights into Mn behavior", *Chemical Geology*, vol. 356, p. 109-125.

Onerc, (2012), *Les outre-mers face au défi du changement climatique*, Rapport au Premier ministre et au Parlement, Paris, La Documentation française.

Onerc, (2015), *L'arbre et la forêt à l'épreuve d'un climat qui change*, Rapport au Premier ministre et au Parlement, Paris, La Documentation française.

Pal A., Gin K.Y., Lin A.Y. et Reinhard M., (2010), "Impacts of emerging organic contaminants on freshwater resources: review of recent occurrences, sources, fate and effects", *Science of The Total Environment*, vol. 408, n° 24, p. 6062-6069.

Pauleit S., Liu L., Ahern J. et Kazmierczak A., (2011), "Multifunctional green infrastructure planning to promote ecological services in the city", in J. Niemela (Ed.), *Handbook Urban Ecology: Patterns, Processes, and Applications*, Oxford: Oxford University Press, Oxford Biology, p. 272-285.

Pavelic P., Dillon P.J., Barry K.E., Vanderzalm J.L., Correll R.L. et Rinck-Pfeiffer S.M., (2007), "Water quality effects on clogging rates during reclaimed water ASR in a carbonate aquifer", *Journal of Hydrology*, vol. 334, n° 1-2, p. 1-16.

Pennino M.J., McDonald R.I. et Jaffe P.R., (2016), "Watershed-scale impacts of stormwater green infrastructure on hydrology, nutrient fluxes, and combined sewer overflows in the mid-Atlantic region", *Science of The Total Environment*, vol. 565, p. 1044-1053.

Pettenati M., Croiset N., Picot-Colbeaux G., Casanova J., Azaroual M., Besnard K. et Rampnoux N., (2012), "Optimisation of wastewater treatments through combined geomaterials and natural soil filter: modelling tools", *Journal of Water Reuse and Desalination*, vol. 2, n° 4, p. 185-193.

Pidgeon N., Corner A., Parkhill K., Spence A., Butler C. et Poortinga W., (2012), "Exploring early public responses to geoengineering", *Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences*, vol. 370, n° 1974, p. 4176-4196.

Poortinga W., Steg L., Vlek C. et Wiersma G., (2003), "Household preferences for energy saving measures, A conjoint analysis", *Journal of Economic Psychology*, vol. 24, p. 49-64.

Prieur M. et al., (2016), *Droit de l'environnement*, Paris, Dalloz, Paris, 7^e édition.

Quinet A. et al., (2013), *L'évaluation socio-économique des investissements publics*, Commissariat général à la stratégie et à la prospective.

Quinet A. et al., (2019), *La valeur de l'action pour le climat, Une valeur tutélaire du carbone pour évaluer les investissements et les politiques publiques*, France Stratégie.

Reder A., Rianna G., Mercogliano P. et Castellari S., (2018), "Parametric investigation of Urban Heat Island dynamics through TEB 1D model for a case study: assessment of adaptation measures" *Sustainable Cities and Society*, vol. 39, p. 662-673.

Redon E., Lemonsu A., Masson V., Morille B. et Musy M., (2017), "Implementation of street trees within the solar radiative exchange parameterization of TEB in SURFEX v8.0", *Geoscientific Model Development*, vol. 10, p. 385-411.

Revi A., Rosenzweig C., (2013), *The Urban Opportunity: Enabling Transformative and Sustainable Development*, Background Paper for the High-Level Panel of Eminent Persons on the Post-2015 Development Agenda, Sustainable Development Solutions Network.

Rey F., Breton V., Poulard C., Breil P. et Mériaux P., (2018), « Les Solutions fondées sur la Nature pour accorder la prévention des inondations avec la gestion intégrée des milieux aquatiques », *Sciences eaux & territoires, La revue d'Irstea*.

Rizvi A.R., Baig S. et Verdone M., (2015), *Ecosystems Based Adaptation: Knowledge Gaps in Making an Economic Case for Investing in Nature Based Solutions for Climate Change*, Gland, Switzerland, IUCN.

Rocle N., (2015), « Gouverner l'adaptation au changement climatique sur (et par) les territoires. L'exemple des littoraux aquitain et martiniquais », *Natures sciences sociétés*, vol. 23, n° 3, p. 244-255.

Schoetter R., Masson V., Bourgeois A., Pellegrino M. et Lévy J.-P., (2017), "Parametrisation of the variety of human behaviour related to building energy consumption in the Town Energy Balance (SURFEX-TEB v. 8.2)", *Geoscientific Model Development*, vol. 10, p. 2801-2831.

Secretariat of the Convention on Biological Diversity, (2004), *The Ecosystem Approach*, (CBD Guidelines) Montreal, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 50 p.

Secretariat of the International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture, FAO, [A. Toledo, D. Manzella], (2012), "The role of the International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture", in *Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector*, Proceedings of a Joint FAO/OECD Workshop, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Organisation for Economic Cooperation and Development, Rome.

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (SenStadt), (2016), *StadtEntwicklungsPlan Klima- KONKRET*, Klimaanpassung in der Wachsenden Stadt, Berlin.

Shiklomanov I.A., Rodda J.C., (2003), *World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century*, Cambridge University Press/Unesco.

Siegele L., (2012), "Loss and Damage: The Theme of Slow Onset Impact", Bonn, Germany, Germanwatch.

- Siegrist M., Gutscher H. et Earle T., (2005), "Perception of risk: the influence of general trust, and general confidence", *Journal of Risk Research*, vol. 8, n° 2, p. 145-156.
- Société Française pour le Droit de l'Environnement, (2019), dossier spécial « Les aspects juridiques de l'érosion côtière », *Revue juridique de l'environnement*, vol. 44, n° 1, 218 p.
- Stern P., (2000), *New Environmental Theories: Toward a Coherent Theory of Environmentally Significant Behavior*.
- Teinturier B., Simon F., (2015), « COP 21 : les Français face au changement climatique », IPSOS.
- Terpstra T., (2011), "Emotions, Trust, and Perceived Risk: Affective and Cognitive Routes to Flood Preparedness Behavior: Affective and Cognitive Routes to Flood Preparedness Behavior", *Risk Analysis*, vol. 31, n° 10.
- Thiéry D., (2010), "Groundwater Flow Modeling in Porous Media Using MARTHE", vol. 5: Modeling Software, Chapter 4, p. 45-60, Environmental Hydraulics Series, J.M. Tanguy (Ed.), Editions Wiley/ISTE London.
- Thomas D.W., Blondel J., Perret P., Lambrechts M.M. et Speakman J.R., (2001), "Energetic and Fitness Costs of Mismatching Resource Supply and Demand in Seasonally Breeding Birds", *Science*, vol. 291, n° 2598.
- Thomas J., DeWeese J., (2015), *Reimagining New Orleans Post-Katrina: A Case Study in Using Disaster Recovery Funds to Rebuild More Resiliently*, Georgetown Climate Center, Washington, DC.
- Toxopeus H., Polzin F., (2017), *Characterizing nature-based solutions from a business model and financing perspective*, Deliverable 1.3 Part V, Naturvation.
- Truilhé-Marengo E., (2015), *Droit de l'environnement de l'Union européenne*, Bruxelles, Larcier, 414 p.
- Tuffnell F., Bignon J., (2019), *Terres d'eau, terres d'avenir : « faire de nos zones humides des territoires pionniers de la transition écologique »*, Assemblée nationale, Sénat, CGEDD.
- UICN France, (2016), *Des Solutions fondées sur la Nature pour lutter contre les changements climatiques*, Paris, France.
- UICN France, (2018), *Les Solutions fondées sur la Nature pour lutter contre les changements climatiques et réduire les risques naturels en France*, Paris, France.
- United Kingdom Natural Capital Committee (UK NCC), (2013), *Natural Capital Committee's first state of natural capital report*.
- UN, (2018), *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- UNEP-WCMC, (2006), *In the front line: Shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs*, UNEP-WCMC, Cambridge, UK, 33 p.
- UNFCCC, (2012), *Slow onset events*, Technical paper.
- Uzzell, D., (2000), "The psycho-spatial dimension of global environmental problems", *Journal of Environmental Psychology*, vol. 20, n° 4, p. 307-318.

Vennetier M., Ladier J. et Rey. F., (2014), « Le contrôle de l'érosion des sols forestiers par la végétation face aux changements globaux », *Revue forestière française*, École nationale du génie rural, vol. LXVI, n° 4, 15 p.

Voyde E, Fassman E. et Simcock R., (2010), "Hydrology of an extensive living roof under sub-tropical climate conditions in Auckland, New Zealand", *Journal of Hydrology*, vol. 395, n° 3 et 4, p. 384-395.

VURCA, (2013), *Vulnérabilité urbaine aux épisodes caniculaires et stratégies d'adaptation*, Projet de recherche n° ANR-08-VULN-013/VURCA, Rapport final.

Walters B.B., (2004), "Local management of mangrove forests in the Philippines: successful conservation or efficient resource exploitation?", *Human Ecology*, vol. 32, n° 2, p. 177-195.

White A.T., Ross M. et Flores M., (2000), "Benefits and costs of coral reef and wetland management, Olango Island, Philippines", *Collected Essays on the Economics of Coral Reefs*, S.J. Cesar Herman (Ed.), 243 p.

World Bank, (2010), *Cities and Climate Change: An Urgent Agenda*, Urban development series, knowledge papers n° 10, Washington, DC.

World Water Assessment Programme (Unesco WWAP), (2018), *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-based solutions for water*, 174 p.

Xue F., Li X., (2017), "The impact of roadside trees on traffic released PM10 in urban street canyon: Aerodynamic and deposition effects", *Sustainable cities and Society*, vol. 30, p. 195-204.

Yolka P., (2017), « Dernier de cordée. L'environnement dans la loi "Montagne 2" du 28 décembre 2016 », *Revue juridique de l'environnement*, vol. 42, p. 233-249.

Zhang K., Chui T.F.M., (2019), "Linking hydrological and bioecological benefits of green infrastructures across spatial scales – A literature review", *Science of The Total Environment*, vol. 646, p. 1219-1231.

Zucker I., Mamane H., Cikurel H., Jekel M., Hübner U. et Avisar D., (2015), "A hybrid process of biofiltration of secondary effluent followed by ozonation and short soil aquifer treatment for water reuse", *Water Research*, vol. 84, p. 315-322.

Filmographie

Agence régionale de la biodiversité en Île-de-France (2015), *La nature, une solution face au changement climatique en Île-de-France*, film d'animation : <https://www.dailymotion.com/video/x37qhi8>

Henry A., France 3, (2018), *Les secrets d'aménagement de la métropole de Lyon pour faire baisser les températures de la ville*, vidéo : <https://france3-regions.francetvinfo.fr/auvergne-rhone-alpes/rhone/lyon/video-secrets-amenagement-metropole-lyon-faire-baisser-temperatures-ville-1523146.html>

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. Au sein du Service climat et efficacité énergétique, l'Onerc constitue le « Pôle adaptation au changement climatique » de la DGEC, en charge du pilotage 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 2018 et septembre 2019.

Action internationale

La fonction de point focal du GIEC pour la France a occupé une large part des activités internationales de l'observatoire en 2018 et 2019. 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)

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.

• Réunions plénières et du bureau du GIEC

En coordination avec les ministères en charge de la recherche (MESRI) et des affaires étrangères (MEAE), 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 quatre réunions plénières du GIEC qui ont notamment permis d'approuver trois rapports spéciaux et la mise à jour du guide méthodologique.

• Sixième cycle du GIEC en France

Sur la période octobre 2018 – septembre 2019, l'Onerc a organisé, en coordination avec le MEAE, le MESRI et exceptionnellement le MAA, les revues par le gouvernement français du 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 et de celui sur le changement climatique, les océans et la cryosphère.

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, le MESRI et le 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 de certains experts.

Encadré 1

Sixième cycle d'évaluation du GIEC

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 publication des trois Volumes (sciences du climat, atténuation, adaptation) du sixième rapport d'évaluation est programmée par les différents groupes de travail pour l'année 2021. Le rapport de synthèse paraîtra au cours du premier semestre 2022.

Trois rapports spéciaux ont été produits au cours de ce sixième cycle :

- 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 a été publié le 8 octobre 2018 ;
- le 8 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 a été publié ;
- le 25 septembre 2019, un troisième rapport spécial sur les liens entre le changement climatique, les océans et la cryosphère a été publié.

En mai 2019, a également été produit une mise à jour du guide méthodologique sur les inventaires nationaux d'émissions de gaz à effet de serre datant de 2006.

Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC)

L'Onerc a participé, au sein de la délégation française, à la 24^e session de la Conférence des parties à la CCNUCC (COP24) ayant eu lieu à l'automne 2018 et à l'intersession de Bonn au printemps 2019.

Un agent de l'Onerc (élu à la COP22) a fini cette année son mandat au sein 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 Département de la lutte contre l'effet de serre du MTES, 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 de l'action pour le climat (DG CLIMA) 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 plateforme d'échange Climate-ADAPT¹ en coordination avec l'Agence européenne de l'environnement (AEE).

Sous la coordination du CGDD/SDES 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 participé à l'atelier annuel sur les impacts du changement climatique, la vulnérabilité et l'adaptation en juin 2019 à l'AEE à Copenhague.

L'Observatoire pyrénéen du changement climatique (OPCC) a invité l'Onerc à faire partie de son comité de pilotage. La deuxième réunion qui a eu lieu à Saragosse le 12 novembre 2018, a été l'occasion d'échanger sur le socle d'indicateurs de suivi du changement climatique dans le cadre de la stratégie de l'OPCC. Le lendemain, l'Onerc a présenté les synergies possibles et les différences entre l'Onerc et l'OPCC en introduction du colloque de présentation des principales conclusions du rapport « Le changement climatique dans les Pyrénées : impacts, vulnérabilités et adaptation ».

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, notamment pour établir la Fiche pays pour la France qui décrit la politique d'adaptation au changement climatique de la France.

L'Onerc participe, en tant que bénéficiaire associé et pilote de certaines actions, au projet Artisan (Accroître la résilience des territoires par l'incitation aux Solutions fondées sur la Nature) coordonné par l'Agence française pour la biodiversité. Ce projet, qui vise à généraliser le recours aux SfN pour l'adaptation au changement climatique, vient d'être retenu par la Commission européenne au titre des projets LIFE intégrés.

Initiatives multilatérales et bilatérales

Dans le cadre du forum régional sur le développement durable de la Commission économique pour l'Europe des Nations unies, l'Onerc est intervenu pour présenter le deuxième plan national d'adaptation au changement climatique.

1. <http://climate-adapt.eea.europa.eu/>

L'Onerc a accueilli dans ses locaux la délégation de l'Observatoire national sur les changements climatiques (ONACC) du Cameroun conduite par son directeur Pr. Joseph Armathé Amougou pour une visite de l'Onerc en juin 2019. Ce dialogue a permis d'échanger sur les expériences respectives des deux organismes dans le domaine de l'adaptation au changement climatique et d'examiner les possibilités de collaboration de l'ONACC avec différents acteurs français.

Dans une logique de collaboration transfrontalière, l'Onerc a eu en outre 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 (Chine, Groupe de Visegrád).

La Commission de normalisation de l'Afnor sur l'environnement et le changement climatique, dont l'Onerc est membre, a suivi les travaux de l'ISO, menant à la publication de la norme ISO 14090 « Adaptation au changement climatique – Principes, exigences et lignes directrices » en juin 2019. Cette norme publiée en langue anglaise par l'ISO a été traduite en français par l'Afnor et publiée en juin 2019.

Politique d'adaptation au changement climatique

Le programme de travail 2019 et le bilan de l'avancement effectif des actions programmées ont été présentés à la Commission spécialisée du Conseil national de la transition écologique chargé de suivre l'avancement du PNACC-2. La Commission a préparé l'avis annuel du Conseil national de la transition écologique relatif à l'avancement 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 au niveau 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.



Figure 1 – Site Web du ministère de la Transition écologique et solidaire (www.ecologique-solidaire.gouv.fr/observatoire-national-sur-effets-du-rechauffement-climatique-onerc)

Rapports annuels

Le rapport annuel *Les événements météorologiques extrêmes dans un contexte de changement climatique* a été publié au mois de décembre 2018 et diffusé directement à plus de 1 500 destinataires. Il s'agit du onzième rapport de l'Onerc au Premier ministre et au Parlement. Il a été remis, en présence de la presse, le 20 décembre 2018 au ministre de la Transition écologique et solidaire par le sénateur Ronan Dantec, président de la commission spécialisée du CNTE dédiée à l'orientation de l'action de l'Onerc.



Figure 2 – Rapport *Les événements météorologiques extrêmes dans un contexte de changement climatique* 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 de mise en œuvre du nouveau plan national d'adaptation au changement climatique.

Ainsi, fin 2018, un numéro de la *Lettre de l'Onerc* aux élus dédié au deuxième plan national d'adaptation au changement climatique, diffusé à plus de 3000 exemplaires, a permis de rappeler l'importance de préparer les territoires aux effets du changement climatique.

Les numéros 31 (mars 2019) et 32 (juin 2019) ont traité respectivement des thèmes « événements météorologiques extrêmes » et « canicule ».

Deux autres numéros ont été préparés pour accompagner la sortie du rapport spécial du GIEC sur les océans et la cryosphère et le changement climatique et celle du présent rapport annuel de l'Onerc au Premier ministre et au Parlement.

Chaque numéro de la lettre aux élus est accompagné d'un encart sur un indicateur du changement climatique afin d'illustrer le thème traité par des données et des témoignages d'experts.



Figure 3 – Lettre de l'Onerc aux élus *Le climat change, agissons!*, n° 32 – Canicule, juin 2019.

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 ressources sur l'adaptation au changement climatique

Parmi les principales actions du PNACC-2 figure le développement d'un centre de ressources sur l'adaptation au changement climatique en exploitant au mieux les nouvelles technologies pour faciliter le partage d'expériences, l'accès aux bonnes pratiques et une présentation de cartographie d'acteurs, en particulier à l'échelle territoriale. Ce centre de ressources traitera notamment des thèmes suivants : santé (y compris au travail), eau, agriculture, forêt, sols, biodiversité, risques naturels, urbanisme, mobilité, pêche et aquaculture, tourisme, secteur financier. Ce centre de ressources inclura à terme un volet international en support aux actions d'aide au développement de la France et des acteurs français de l'Agenda mondial de l'action pour le climat, y compris un rôle de veille afin d'apprendre des autres pays.

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 comme Météo-France.

Interventions, actions de formation et séminaires

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.

L'Onerc est intervenu pour présenter le deuxième plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC-2) au séminaire SAGE qui s'est tenu à Orléans en septembre 2018. Il a également présenté le PNACC-2 en octobre 2018 lors d'une conférence sur l'adaptation au changement climatique organisée par l'IAU Île-de-France et au colloque « L'eau c'est politique ! » organisé par l'afeptb, l'ANEB et le Smavd Durance ; à une journée de sensibilisation des agents de la ville d'Ajaccio en février 2019 ; à la Rencontre régionale des territoires sur le thème du changement climatique organisée conjointement par l'Ademe, le conseil régional Bourgogne-Franche-Comté et la Dreal en mars 2019 ; au réseau des acteurs publics de la transition énergétique en Haute-Vienne en avril 2019 ; à la Breizh COP organisée par la région Bretagne ; et à une journée technique organisée par la DDT de l'Ardèche, la DDT de la Drôme et les syndicats d'énergie Drôme et Ardèche à Valence en juin 2019.

Un webinar dédié a permis à l'Onerc de présenter le PNACC-2 aux services déconcentrés de l'État et aux régions.

L'Observatoire a présenté les résultats du rapport spécial du GIEC sur le réchauffement de 1.5 °C au club ViTeCC ainsi qu'à la Commission efficacité énergétique et énergies renouvelables du SIGEIF.

L'Onerc a animé l'atelier sur le changement climatique aux rencontres nationales santé environnement organisées à Bordeaux en janvier 2019.

L'Onerc a également participé à certains ateliers du programme dédié à l'adaptation au changement climatique du Comité 21, premier réseau multi-acteurs du développement durable et de la RSE. Le Comité souhaite ainsi 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 participe 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. L'Onerc intervient également lors des formations « Nature en ville » et « Eau et changement climatique », organisées par le ministère de la Transition écologique et solidaire, formations ouvertes aux collectivités territoriales.

Plusieurs actions de formation au sein d'établissements d'enseignement supérieur sont assurées par l'Onerc (AgroParisTech, École nationale de la météorologie, École normale supérieure, Centre de formation sur l'environnement et la société, Science-Po Paris, IUT de Cergy-Pontoise, AUE École des Ponts, etc.).

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 le public le plus large possible à des fins de sensibilisation – ont été présentées pendant une durée de 786 jours cumulés pour l'ensemble des lieux disponibles au sein d'établissements scolaires, d'entreprises, d'association et de collectivités territoriales.

Un journal de présentation des deux expositions est régulièrement diffusé, 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>



Figure 4 – 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, les mises à jour des indicateurs sont faites régulièrement. L'Onerc a entamé des discussions avec de nouveaux partenaires pour mettre à jour d'anciens indicateurs ou pour en proposer de nouveaux.

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.

Un séminaire intitulé « Stratégies pour les indicateurs : du régional au national » a été organisé par l'Onerc en juillet 2019 sur le site de La Défense. Cette journée avait pour objet d'entamer une réflexion collective, visant à définir la stratégie indicateurs Onerc, et sa mise en œuvre. En parallèle le matin et en commun l'après-midi, s'est tenue une réunion regroupant les experts régionaux du climat (AcclimaTerra, Ouranos-Aura, GREC-SUD, RECO...) et les acteurs de l'adaptation et de l'atténuation (observatoires locaux, ORACLE, Météo-France...) afin de contribuer à la production d'indicateurs climatiques communs et afin de réfléchir à la mise en place de dispositifs régionaux cohérents entre eux et avec les observatoires nationaux.

Au cours du dernier trimestre de l'année 2018, une nouvelle brochure de présentation des indicateurs du changement climatique suivis par l'Onerc a été réalisée en étroite collaboration avec la DICOM du MTES.



Figure 5 – Brochure *Changement climatique, impacts en France*.

Annexes



Annexe I

SIGLES ET ACRONYMES

ACB : Analyse coûts-bénéfices

Ademe : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

AFB : Agence française pour la biodiversité

AFD : Agence française de développement

Afnor : Association française de normalisation

AFORCE : Adaptation des forêts au changement climatique

AMC : Analyse multicritères

AR5 : *Assessment Report 5*

ARB : Agence régionale de la biodiversité

Artisan : Accroître la résilience des territoires par l'incitation aux Solutions fondées sur la Nature

BRGM : Bureau de recherches géologiques et minières

CBS : Coefficient de biotope par surface

CCNUCC : Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques

CCR : Caisse centrale de réassurance

CDB : Convention pour la diversité biologique

CDC-Biodiversité : Caisse des dépôts et consignations-Biodiversité

CEE : Communauté économique européenne

CEI : Commission électrotechnique internationale

CEPRI : Centre européen de prévention du risque d'inondation

Cerema : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

CGAAER : Conseil général de l'agriculture, de l'alimentation et des espaces ruraux

CGDD : Commissariat général au développement durable

CIRA : Centre italien de recherches aérospatiales

CLD : Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification

CLE : Commission locale de l'eau

CMCC : Centre euro-méditerranéen sur le changement climatique

CMI : Commission mixte inondation

CNRM : Centre national de recherches météorologiques

CNRS : Centre national de recherche scientifique

CNULCD : Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification

COP : Conférence des parties

CRGAA : Commission sur les ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture

DCE : Directive-cadre sur l'eau

DEB : Direction de l'eau et de la biodiversité

DGALN : Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature

DGEC : Direction générale de l'énergie et du climat

DGPR : Direction générale de la prévention des risques

DHUP : Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages

EASME : *Executive Agency for Small and Medium-sized Enterprises*

EbA : *Ecosystem-based Adaptation*

EEA : *European Environment Agency*

EFESE : Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques

EPCI : Établissement public de coopération intercommunale

Excom : Comité exécutif du Mécanisme international de Varsovie relatif aux pertes et préjudices

FAO : Organisation des Nations unies sur l'alimentation et l'agriculture

Feader : Fonds européen agricole de développement rural

Feder : Fonds européen de développement régional

Fesi : Fonds européens structurels et d'investissement

FFEM : Fonds français pour l'environnement mondial

FNE : France Nature Environnement

FNH : Fondation Nicolas Hulot pour la nature et l'homme

FPRNM : Fonds de prévention des risques naturels majeurs

Gemapi : Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

GIEE : Groupes d'intérêt économique et environnemental

GIP : Groupement d'intérêt public

GIZC : Gestion intégrée des zones côtières

GPATIC : Grand prix de l'aménagement en terrain inondable constructible

IPBES : Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change

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

ISO : *International Organization for Standardization*

ITE : Isolation thermique par l'extérieur

LIFE : L'instrument financier pour l'environnement de l'Union européenne

LPO : Ligue pour la protection des oiseaux

MAA : Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation

MAEC : Mesures agroenvironnementales et climatiques

MAES : *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services*

MAPTAM : Modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles

MAR : *Managed Aquifer Recharge*

MNHM : Muséum national d'histoire naturelle

MTES : Ministère de la Transition écologique et solidaire

NOTRe : Nouvelle organisation territoriale de la République

NWP : *Nairobi Work Programme*

OAP : Orientations d'aménagement et de programmation

OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques

ODD : Objectifs du développement durable

OMC : Organisation mondiale du commerce

Onerc : Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

ONF : Office national des forêts

ONN : Organisme national de normalisation

ONTVB : Orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques

ONU : Organisation des Nations unies

PAC : Politique agricole commune

PADDUC : Plan d'aménagement et de développement durable de la Corse

PAPI : Programme d'actions de prévention des inondations

PCAET : Plan climat air énergie territorial

PEI : Partenariat européen pour l'innovation

PGRI : Plan de gestion des risques d'inondation

PLU : Plan local d'urbanisme

PNACC : Plan national d'adaptation au changement climatique

PNFB : Programme national de la forêt et du bois

PPRN : Plan de prévention des risques naturels

PSE : Paiements pour services environnementaux

RCP : *Representative Concentration Pathway*

REUT : Réutilisation des eaux usées traitées

RGAA : Ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture

SafN : Solutions d'adaptation fondées sur la Nature

SAGE : Schéma d'aménagement et de gestion des eaux

SAR : Schéma d'aménagement régional

SCoT : Schéma de cohérence territoriale

SDAGE : Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux

SDRIF : Schéma directeur de la région Île-de-France

Sesame : Services EcoSystémiques rendus par les Arbres Modulés selon l'Essence

SfN : Solutions fondées sur la Nature

SHS : Sciences humaines et sociales

SLGRI : Stratégie locale de gestion des risques d'inondation

SNB : Stratégie nationale pour la biodiversité

SNGRI : Stratégie nationale de gestion des risques d'inondation

SPM : *Summary for Policy Makers*

SRADDET : Schéma régional d'aménagement de développement durable et d'égalité des territoires

SRCAE : Schéma régional climat air énergie

SRCCCL : *Special Report on Climate Change and Land*

SRCE : Schéma régional de cohérence écologique

SROCC : *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*

STEP : Station d'épuration des eaux usées

TCE : Traité instituant la Communauté européenne

TEB : *Town Energy Balance*

TFUE : Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne

TIRPAA : Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture

TRI : Territoire à risque important d'inondation

TVB : Trame verte et bleue

UICN : Union internationale pour la conservation de la nature

UPGE : Union professionnelle du génie écologique

ZEC : Zone d'expansion des crues

ZRV : Zone de rejet végétalisée

Annexe 2

CONTRIBUTEURS ET REMERCIEMENTS

Cet ouvrage a été réalisé sous la direction de Laurent Michel, directeur de l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique, et de Éric Brun, secrétaire général.

Auteurs :

Angela Andrade, Commission sur la gestion des écosystèmes de l'UICN

Carmela Apreda, Fondation CMCC (Centre euro-méditerranéen sur le changement climatique)

Marc Barra, Agence régionale de la biodiversité, Île-de-France

Nicolas Bauduceau, Caisse centrale de réassurance (CCR)

Hélène Becquembois, ministère de la Transition écologique et solidaire (DGALN/DHUP)

Maud Berel, ministère de la Transition écologique et solidaire (DGALN/DEB)

Anne-Lise Bonin, Acer campestre

Stéphanie Bidault, Centre européen de prévention du risque d'inondation (Cepri)

Aline Boy, ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (DGPE)

Valentina Bucchi, Anci Toscana

Antoine Cadi, CDC-Biodiversité

Marie Carrega, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (Onerc)

Luc Chrétien, Cerema

Florian Claeys, ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (DGPE)

Emmanuelle Cohen-Shacham, Commission sur la gestion des écosystèmes de l'UICN

Anaïs Degache-Masperi, Irstea

Justine Delangue, Comité français de l'UICN

Sébastien Dellinger, École des systèmes vivants et Union professionnelle du génie écologique

Cécile de Munck, CNRM

Isabel-Monica Diaz, ministère de la Transition écologique et solidaire (DGALN/DHUP)

Nathalie Dörfliger, BRGM

Marylou Dufournet, Cerema

Lorène Dumeaux, Vinci

Jérôme Duvernoy, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (Onerc)

Janique Etienne, Fonds français pour l'environnement mondial (FFEM)

Milène Gentils, ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (DGPE)

Ghislaine Ferrere, ministère de la Transition écologique et solidaire (DGALN/DEB)

Ghozlane Fleury-Bahi, université de Nantes, Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire

Damien Goislot, ministère de la Transition écologique et solidaire (DGPR/SRNH)

Loïc Gouguet, Office national des forêts (ONF)

Céline Guichard, ministère de la Transition écologique et solidaire (DGALN/DHUP)

Gwendoline Grandin, Agence régionale de la biodiversité, Île-de-France

Marianne Hédont, Plante & Cité

Yann Kervinio, ministère de la Transition écologique et solidaire (CGDD/SEEIDD)

Gilles Lecuir, Agence régionale de la biodiversité, Île-de-France

Aude Lemonsu, CNRM

Antoine Lombard, ministère de la Transition écologique et solidaire (DGALN/DEB)

Sandra Malaval, Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées/
Agence française pour la biodiversité

Roxane Marchal, Caisse centrale de réassurance (CCR)

Valéry Masson, CNRM

Audrey Massot, ministère de la Transition écologique et solidaire (DGALN/DEB)

Luc Mauchamp, ministère de la Transition écologique et solidaire (DGALN/DEB)

Paola Mercogliano, Fondation CMCC et CIRA (Centre italien de recherches aérospatiales)

Agnès Michelot, université de La Rochelle

David Moncoulon, Caisse centrale de réassurance (CCR)

Sabine Moraud, ministère de la Transition écologique et solidaire (DGALN/DEB)

Anne-Laure Moreau, Centre européen de prévention du risque d'inondation (Cepri)

Emmanuel Morice, ministère de la Transition écologique et solidaire (DGALN/DEB)

Théo Mouton, CDC-Biodiversité

Oscar Navarro, université de Nantes, Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire

Marie Pettenati, BRGM

Thierry Polard, Suez

Benjamin Poteau, Mairie de Lille

Alfredo Reder, Fondation CMCC (Centre euro-méditerranéen sur le changement climatique)

Thomas Redoulez, Union professionnelle du génie écologique (UPGE)

Freddy Rey, Irstea

Suzanne Rihal, CDC-Biodiversité

Nicolas Rocle, Irstea

Flore Sancey, ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (DGPE)

Baptiste Sanson, Afac-Agroforesteries

Frédéric Ségur, métropole du Grand Lyon

Rémi Suaire, Cerema

Laure Tourjansky, ministère de la Transition écologique et solidaire (DGPR/SRNH)

Elisabeth Van de Maele, ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (DGPE)

Antonin Vergez, ministère de la Transition écologique et solidaire (CGDD/SEEIDD)

Sarah Voirin, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (Onerc)

Personnes ayant contribué à la relecture :

Vincent Bourcier, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (Onerc)

Eric Brun, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (Onerc)

Romain Cailleton, Direction générale de l'énergie et du climat

Marie Carrega, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (Onerc)

Olivier David, Direction générale de l'énergie et du climat

Jérôme Duvernoy, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (Onerc)

Laurent Michel, Direction générale de l'énergie et du climat

Frédéric Schafferer, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (Onerc)

Sarah Voirin, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (Onerc)

Personnes ayant facilité la construction de l'ouvrage :

Patrick Bazin, Conservatoire du littoral

Julie Delcroix, DG RTD, Commission européenne

Marco Fritz, DG RTD, Commission européenne

Benjamin Javaux, Suez

Sylvie Gillet, Entreprise pour l'environnement (EpE)

Eric Girard, Conservatoire du littoral

Yves Majchrzak, Cerema

Anne Martinet, Conservatoire du littoral

Sofie Vandewoestijne, EASME, Commission européenne

Remerciements

L'Onerc remercie vivement les auteurs, les personnes ayant contribué à la relecture ainsi que les personnes ayant facilité la construction de cet ouvrage en guidant l'écriture ou en mobilisant des auteurs.

Le climat dans tous ses états

OBSERVATOIRE NATIONAL
SUR LES EFFETS DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Retrouvez tous les rapports en accès gratuit
sur www.vie-publique.fr



Formats numériques (PDF et e-pub)
En accès gratuit sur
www.vie-publique.fr

Les dernières parutions de l'ONERC

- › Les événements météorologiques extrêmes dans un contexte de changement climatique
- › Vers un second plan d'adaptation au changement climatique pour la France
Enjeux et recommandations
- › L'arbre et la forêt à l'épreuve du climat qui change
- › Adaptation au changement climatique
- › Le littoral dans le contexte du changement climatique

Nouveau

Vie-publique.fr, le débat public accessible à tous

Plus convivial, et entièrement gratuit, le nouveau **vie-publique.fr** met à disposition des citoyens, des ressources et des données fiables pour comprendre les grands sujets qui animent le débat public français.



Sauriez-vous répondre... ?

- > Les océans ont-ils des frontières ?
- > Quelle est la politique environnementale de l'UE ?
- > Qu'est-ce qu'un fonds souverain ?
- > Quelles adaptations au changement climatique ?

Retrouvez toutes les réponses et bien plus sur **www.vie-publique.fr**

Accédez directement à l'essentiel avec des :

- / Infographies, vidéos et podcasts
- / Fiches pédagogiques, dossiers et cartes
- / Rapports et discours publics



Vie publique
Au cœur du débat public

Qu'ils soient naturels, forestiers, agricoles, urbains, côtiers, montagnards, les territoires français subissent de plein fouet les impacts du changement climatique. Cependant, même menacés les écosystèmes font parfois preuve d'une grande résilience et développent différentes stratégies d'adaptation dont les sociétés humaines pourraient s'inspirer.

Le présent rapport analyse comment la nature peut être source de solutions pour l'adaptation au changement climatique. En effet, dans de nombreuses situations, la réduction des impacts du changement climatique passe par la gestion souple des dunes, la végétalisation urbaine ou la renaturation des berges des rivières... Cette multitude de solutions qui s'appuient sur le fonctionnement écologique des écosystèmes a été récemment regroupée sous la bannière d'un seul concept : les « Solutions fondées sur la Nature ».

À travers la présentation de différentes études de cas, mais aussi d'un état des lieux des savoirs et des savoir-faire sur les Solutions fondées sur la Nature, et de leur intégration actuelle et potentielle dans les politiques publiques, ce rapport nous invite à questionner les pratiques habituelles et cette vision dominante de l'aménagement du territoire reposant uniquement sur le recours à des solutions d'ingénierie classique dites « solutions grises » (ex. construction de digues pour lutter contre les inondations).

Le plus souvent capables de réduire les impacts du changement climatique, résilientes dans le temps, et réversibles, les Solutions fondées sur la Nature présentent de nombreux avantages en termes d'adaptation par rapport aux solutions grises qui méritent d'être étudiés et exploités. Aussi ce rapport présente les principaux outils pour renforcer le déploiement des Solutions d'adaptation fondées sur la Nature ainsi que des recommandations et des pistes à explorer pour aller plus loin.



Diffusion

**Direction de l'information
légale et administrative**

La documentation Française

Tél. : 01 40 15 70 10

www.vie-publique.fr

Imprimé en France

Ouvrage non vendu