



HAL
open science

S'adapter aux changements, de la réduction de la vulnérabilité à l'augmentation de la résilience

Jean-Paul Vanderlinden, Yorghos Remvikos, Charlotte da Cunha, Raphael Brett, Rémy Slama, Jean-Christophe Bureau

► To cite this version:

Jean-Paul Vanderlinden, Yorghos Remvikos, Charlotte da Cunha, Raphael Brett, Rémy Slama, et al.. S'adapter aux changements, de la réduction de la vulnérabilité à l'augmentation de la résilience. Jean-Michel LOURTIOZ; Jane LECOMTE; Sophie SZOPA; Catherine EVEN; Guillaume ROUX. Enjeux de la transition écologique. Enseigner la transition écologique aux étudiants de licence à l'université, EDP Sciences, pp.31, 2021, 978-2-7598-2662-9. hal-03483619

HAL Id: hal-03483619

<https://universite-paris-saclay.hal.science/hal-03483619v1>

Submitted on 10 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Chapitre 10

S'adapter aux changements, de la réduction de la vulnérabilité à l'augmentation de la résilience

Ce chapitre présente ce qu'implique notre adaptation aux changements globaux, en particulier au changement climatique. Nous verrons d'abord en quoi consiste un processus d'adaptation. Étant donné l'ampleur du changement en cours, nous verrons que l'adaptation passe nécessairement par une transformation profonde de notre société. En fait, il n'y a pas de distinction franche entre le processus d'adaptation au changement climatique et les actions d'atténuation de ce changement, que nous verrons dans le prochain chapitre. S'adapter implique de mener des actions de planification à tous les niveaux, local, régional et international en visant en particulier à réduire les vulnérabilités à la variabilité climatique. S'adapter nécessite aussi de trouver les moyens de **gouvernance** appropriés à tous les niveaux, car ce n'est qu'au prix d'un investissement certain à la fois individuel et collectif que pourra s'épanouir une **gouvernance** politique efficace de l'environnement. À la fin du chapitre sont abordés des exemples pratiques d'adaptation possible dans le domaine de la santé et dans celui de l'agriculture; comment réduire les risques de mortalité imputables aux températures élevées et comment adapter les cultures aux **sécheresses** à répétition. En fait, plus que des solutions, ce sont des réflexions auxquelles le lecteur est invité tout au long de ce chapitre.

10.1. L'adaptation : déclinaisons et enjeux – J.P. Vanderlinden

10.1.1. Stimuli climatiques, vulnérabilité, capacité adaptative et transformation

Les changements climatiques sont bien là. Il nous faut en limiter l'ampleur, mais il est sûr que, dans une certaine mesure, il nous faudra aussi nous y adapter. Atténuer les changements est une nécessité, s'adapter est une contingence.

D'après la définition du [GIEC](#) (2001): « *L'adaptation, c'est l'ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli climatiques ou à leurs effets, afin d'atténuer les effets néfastes ou d'exploiter des opportunités bénéfiques.* »

Quelles sont la nature et la temporalité des stimuli dont on parle? Cette question est fondamentale, car souvent on se trompe en pensant que l'on s'adapte à des changements de moyenne: température plus chaude (ou plus froide), précipitations qui augmentent en moyenne (ou qui diminuent), etc. Ce n'est qu'une vision partielle de choses. Le défi d'adaptation le plus important se rapporte à la variabilité climatique, c'est-à-dire la fréquence des événements extrêmes qui nous menacent. Un degré de plus en moyenne à Brest est sans doute supportable, mais des canicules dix fois plus fréquentes, c'est une menace d'une autre ampleur. Moyenne et variabilité sont donc deux des stimuli auxquels nous devons nous adapter. Il existe un troisième stimulus, plus compliqué à appréhender et fondamental pour l'être humain. Le changement climatique crée de nouvelles incertitudes. Nous devons prendre des décisions aujourd'hui pour un avenir qui nous est obscurci par le caractère jamais vu auparavant des changements climatiques d'origine humaine. Si aujourd'hui le progrès des connaissances sur le [climat](#) nous a permis d'acquérir un certain nombre de certitudes, il n'en demeure pas moins que de nouvelles incertitudes ont vu le jour et qu'il faudra en prendre compte. Le troisième stimulus associé au changement climatique, qui n'impacte que les humains, est donc celui associé à de plus grandes incertitudes sur l'avenir, des incertitudes augmentées par l'ajout d'incertitudes fortes sur l'évolution précise du climat.

La définition proposée par le [GIEC](#) inclut une notion d'opportunité à saisir. Il s'agit d'une question fondamentale. Certains d'entre nous sont certainement mieux placés que d'autres pour bénéficier de la réduction des impacts des changements climatiques. L'adaptation pourrait alors renforcer les inégalités. Or, les inégalités sont sources de vulnérabilités et la première opportunité est justement de réduire ces vulnérabilités. Une dynamique de réduction de la vulnérabilité à la variabilité actuelle du [climat](#) a bien été enclenchée et nous en verrons un exemple dans ce chapitre (voir section [10.3](#)).

Pour nous adapter, il nous faut non seulement anticiper la [météorologie](#) de demain, mais aussi développer nos capacités adaptatives pour ne pas nous laisser

dépasser. Un tel travail de préparation prend différentes formes, notamment celle de la planification comme le décrira Charlotte Da Cunha dans la suite de ce chapitre (voir section 10.4).

Finalement, et c'est sans doute encore plus fondamental que les points précédents: il nous faut changer nos modes de vie! Il faut que toutes et tous, personnes et institutions, intégrions la question climatique dans nos prises de décision et que ces questions menaçant l'humanité deviennent prioritaires. Il nous faut nous transformer, ce que commentera Yorghos Remvikos dans la suite de cette section (voir section 10.2).

10.1.2. Le processus d'adaptation dans un contexte d'incertitudes et de certitudes

L'adaptation est un processus, pas un état. Face aux incertitudes et à l'évolution du monde, nous ne sommes pas adaptés, nous nous adaptons.

Si l'on repart de la notion de «stimuli climatiques», pour pouvoir s'adapter, il faut être en mesure de capturer les signaux, les trier, les interpréter. Le fondement de l'adaptation, c'est la connaissance que l'on peut acquérir sur un environnement changeant. Ceux qui, étudiant la composition de l'**atmosphère**, ont découvert l'accumulation de CO₂ dans l'**atmosphère** terrestre, un peu par surprise, n'avaient pas l'intention initiale de tirer la sonnette d'alarme. Par contre, ils étaient curieux et en mesure de capturer, grâce à des moyens significatifs, différents signaux. Sans avoir accès aux signaux propres aux stimuli, il n'y a pas de moyen de s'adapter. En bref, sans observations, sans recherches, sans séries chronologiques portant sur différentes variables, il n'y a pas de signal, pas d'observation de stimuli, pas d'adaptation.

Ensuite, lorsqu'un stimulus a pu être identifié, interprété, et jugé suffisamment saillant pour que cela appelle un ajustement, il faut disposer des ressources pour cet ajustement. Dans des systèmes économiques qui fonctionnent à flux tendus, il n'y a généralement pas de ressources en sus et l'ajustement prend du temps ou ne se fait pas. Il faut donc, au contraire, des systèmes économiques qui permettent de disposer de moyens pour s'adapter à tout moment, une **gouvernance** et une conception de la coordination capables de relever nos défis collectifs (voir plus loin section 10.5).

Il faut, par ailleurs, être conscient que le processus d'adaptation se déroule dans un contexte d'incertitudes. Aux incertitudes liées au **climat** lui-même s'ajoutent des incertitudes liées à la société. Par exemple, sur le plan juridique, une décision prise pour l'adaptation risque-t-elle d'être contestée face à une cour de justice, est-elle réglementaire? Notre responsabilité sera-t-elle engagée si une décision entraîne des conséquences négatives imprévues? Pourra-t-on me poursuivre pour inaction? Il y a des incertitudes morales: les normes morales sont-elles partagées par tous les concernés? L'acceptabilité des décisions d'adaptation est-elle menacée par des questions d'ordre moral? Aussi bien les sphères juridiques que morales relèvent de la façon dont la société, le collectif, fera face à la décision. Cela nous amène aux

incertitudes sociétales. Risque-t-on des mobilisations, des paniques, des amplifications sociales, ou des dénis collectifs avec une prise de risque inconsidérée ?

En bref, l'adaptation au changement climatique ne soulève pas que des questions de sciences du climat, mais aussi des questions juridiques, morales, sociétales, institutionnelles, etc. Les sources d'incertitude, qui sont parfois fort locales, génèrent aussi des solutions très liées au contexte de mise en œuvre. Cela étant, face aux incertitudes, il y aura néanmoins des certitudes. Ainsi, en dépit des difficultés, l'adaptation est intégrée progressivement dans les dynamiques de planification qui se développent au sein de structures privées et publiques. Une autre certitude est que les choix faits aujourd'hui auront une influence durable sur les années à venir. Il nous faut donc agir aujourd'hui de façon raisonnée. On sait par ailleurs que l'adaptation aux changements climatiques aura des impacts sur les différents secteurs de l'activité humaine. Ces impacts sont nombreux, multifactoriels, et multiformes.

Dans tous les cas, une approche intégrée de l'adaptation (verticalement et horizontalement) s'impose. Comme nous l'avons mentionné, l'adaptation est dépendante des lieux et des contextes. En matière d'adaptation, chaque solution, chaque approche, devra être taillée sur mesure.

10.2. L'adaptation en tant que transformation profonde – Y. Remvikos

10.2.1. Le concept d'adaptation et ses différentes acceptions

Revenons un instant sur le concept d'adaptation. Charles Darwin a été l'un des premiers à l'utiliser en proposant l'adaptation comme une réponse des **espèces** aux pressions changeantes des milieux, réponse indissociable de ce qu'il appellera la sélection naturelle. Le vivant ne fait cependant pas que subir les changements, il y contribue aussi, l'humain en étant l'exemple par excellence. Des auteurs du début du XX^e siècle ont, quant à eux, prétendu que l'humanité n'était plus adaptée aux besoins de l'économie industrielle, autrement dit, qu'il fallait adapter la société à l'économie. Cet autre usage « **anthropocentré** » du concept d'adaptation a accompagné la montée de l'idéologie néolibérale avec les conséquences qu'on lui connaît sur l'environnement. Il a aussi renforcé, de fait, la distinction entre, d'un côté, ce qui appartient à la Nature et de l'autre, les humains qui s'en sont « volontairement » exclus depuis le XVII^e siècle (voir section 1.3).

D'autres approches encore laisseraient à penser que l'adaptation se fait dans un monde susceptible d'atteindre un équilibre stable. Or, comme l'affirmait l'écologue Crawford Stanley Holling dans un article de 1973, « *l'état par défaut des écosystèmes est le changement et non l'équilibre, encore moins la stabilité* » [1]. Précédemment dans cet ouvrage (voir section 4.1.2) Pierre-Henri Gouyon invoquait un « *équilibre*

dynamique» pour décrire la [biodiversité](#). De même, nous avons vu que le [climat](#) changeait en permanence depuis des millions d'années (voir sections 1.1 et 1.2), que cela soit dû à des forces hors de notre portée comme la variabilité de l'[énergie](#) solaire, la [tectonique des plaques](#) ou les mouvements de la Terre sur son orbite, ou que cela soit le résultat actuel des activités humaines. Vivre dans un monde en devenir est une compréhension qu'il nous faut ainsi adopter, même si un monde changeant affecte notre capacité à prévoir son évolution et rend forcément fragiles les propositions de planification de l'adaptation.

Enfin, une partie de la littérature tend à présenter l'adaptation, tantôt comme un processus, donc l'ajustement au changement, parfois comme le résultat même de l'action d'adapter, voire comme la finalité de cette action. Il est évident que cette définition, mêlant moyens et fins, n'est pas acceptable. Retenons donc que l'adaptation est un processus qui doit être (ré)activé en permanence et qu'il n'y pas d'adaptation aux conditions ambiantes sans tenir compte de l'adaptation des milieux eux-mêmes et de leurs altérations permanentes, notamment celles dues à nos propres activités. Quant aux finalités de l'adaptation, elles sont à trouver dans notre sécurité, bien sûr, mais aussi dans la soutenabilité, la résilience, le bien-être ou même tout à la fois.

10.2.2. Le réchauffement climatique, un défi auquel l'humanité tout entière doit faire face

Est-ce que le réchauffement climatique est un problème en soi, auquel il nous faut nous adapter ? Poser la question en ces termes revient, en prenant une métaphore du domaine médical, à traiter un symptôme plutôt que diagnostiquer la maladie. Nous ne pouvons pas nous adapter au réchauffement climatique, encore moins tenter de l'atténuer, sans porter notre attention sur les principales causes qui en sont à l'origine. Sans pour autant oublier la variabilité naturelle du rayonnement solaire, nous admettons aujourd'hui que le réchauffement climatique actuel, brutal au regard des évolutions passées qui se sont faites sur des millions d'années, est principalement dû aux activités humaines et aux choix récents de développement (libération d'énormes quantités de [gaz à effet de serre](#)) que nous avons nous-mêmes opérés. Les principales causes se trouvent ainsi dans nos modes de production et de consommation et plus généralement, dans nos modes de vie, dispendieux et peu soucieux des contraintes et du fonctionnement de la [biosphère](#).

C'est donc, sans doute, un autre rapport à la Terre, qu'il nous faudrait considérer, autre que celui qui s'est imposé dans l'[Anthropocène](#) des dernières centaines d'années, avec l'exploitation généralisée et sans limite de l'environnement, justifiée par la nécessité de la croissance. Peut-être y a-t-il des inspirations à trouver dans des cultures qui, parfois, depuis longtemps, entretiennent un rapport à la Terre bien différent de celui développé dans la culture occidentale.

Doit-on par ailleurs, à ce stade, faire une distinction franche entre le processus d'adaptation au changement climatique et celui d'atténuation de ce changement en

considérant que toute action, qui vise à la réduction des émissions des [gaz à effet de serre](#), relève de l'atténuation alors que l'adaptation est limitée aux tentatives de réduction des impacts du changement climatique? La séparation peut sembler artificielle et le processus d'adaptation pourrait être interprété comme un simple ajustement du système de société sans le remettre en question. Est-ce vraiment la solution de préserver la structure du système actuel face au défi d'ampleur que pose le réchauffement climatique à toute l'humanité?

Si, en revanche, l'adaptation porte sur une transformation des modes de vie, en maîtrisant les effets de nos activités, en choisissant ces activités, en étant soucieux des limites de notre planète, alors elle serait aussi une force de réduction des émissions des [gaz à effet de serre](#), menant à un système différent, une société conçue sur des principes renouvelés, non seulement sobre, mais aussi peut-être moins inégalitaire, plus juste. Le processus d'adaptation au réchauffement climatique, considéré ainsi comme une transformation profonde, nous invite donc à réfléchir sur le monde, que l'on souhaite voir venir, et à ne pas subir que les tendances imprimées par l'économie mondialisée.

10.3. L'adaptation en tant que réduction des vulnérabilités à la variabilité climatique actuelle – J.P. Vanderlinden

Nous abordons ici l'adaptation au changement climatique, vue sous l'angle de la réduction des vulnérabilités à la variabilité climatique actuelle.

10.3.1. Vulnérabilité et exposition

Commençons par domestiquer les concepts d'exposition et de vulnérabilité en les illustrant à partir d'événements climatiques marquants, plus ou moins récents.

La tempête Xynthia de 2012 a été la plus meurtrière en France pour le siècle présent. Les personnes qui vivaient en zone inondable étaient exposées à l'eau. Dans les maisons où l'eau montait rapidement, la mobilité était fortement réduite, et il était difficile d'échapper à la noyade. Dans le cas plus récent de la pandémie Covid-19, certaines personnes ont, au contraire, pu échapper au contact du virus grâce aux mesures de confinement et/ou à la pratique de gestes barrières : ces personnes n'ont pas été exposées. Le concept d'exposition permet donc d'identifier des leviers particuliers d'action pour extraire les victimes potentielles, humaines ou non humaines, des lieux ou des conditions qui les exposent au danger.

Le concept d'exposition permet aussi d'analyser des situations très diverses où l'environnement changeant interagit négativement avec les humains et non-humains. Ainsi, les [vagues de chaleur](#), notamment celle de 2003 en France, ont exposé plus particulièrement les habitants des grandes villes vivant sous les toits, celles et ceux

qui devaient se déplacer dans des îlots de chaleur pour faire leurs courses, aller au travail ou vivre, tout simplement. La pollution des océans par les plastiques menace toute la faune qui y est exposée, notamment les **espèces** pélagiques qui traversent les champs de macro et méso déchets plastiques.

L'exposition à un risque climatique peut ainsi être définie, de manière générale, comme la présence de personnes, de moyens de subsistance, d'**espèces** ou d'**écosystèmes**, de ressources et de services environnementaux, d'éléments d'infrastructure ou de biens économiques, sociaux ou culturels, dans un lieu susceptible de subir des dommages.

Passons maintenant au concept complémentaire de vulnérabilité, c'est-à-dire la propension des humains ou non-humains et des **écosystèmes** à être affectés par un événement dangereux, une situation dangereuse, lorsqu'ils y sont exposés. Dit autrement, la vulnérabilité est la propension ou prédisposition à subir des dommages. Ainsi, les personnes âgées et/ou celles souffrant de fragilité (on a pu aussi parler de comorbidité) ont été et sont encore parmi les plus vulnérables, que ce soit dans le cas des **vagues de chaleur**, de la pandémie Covid-19 ou même dans le cas d'inondations comme celle due à la tempête Xynthia. Pour ce dernier cas, il était, par contre, plus difficile d'anticiper la vulnérabilité des personnes atteintes de fragilité respiratoire ou cardiaque.

Si l'on reprend l'exemple de la pollution des océans par les plastiques, des **espèces** peuvent devenir vulnérables dès lors que leur régime alimentaire inclut la consommation de méduses, car ces dernières ont la capacité de capturer les particules de microplastique. La pollution aux plastiques est également un danger pour les **espèces** marines habituées à se déplacer sur de grandes distances, car les exigences énergétiques de ces migrations les affaiblissent, les vulnérabilisent, les plastiques exacerbant alors leur faiblesse.

Dans tous les cas cités, il est alors possible d'imaginer des actions pour rendre les personnes ou les **espèces** non-humaines moins vulnérables, en ciblant les éléments les rendant vulnérables.

10.3.2. Conceptualisation d'un risque climatique

Voyons maintenant comment théoriser les concepts d'exposition et de vulnérabilité dans un contexte de changement climatique en envisageant, par exemple, un choc météorologique comme une tempête côtière qui provoque une inondation. Pour conceptualiser une telle situation (Fig. 10.1), il nous faut d'abord préciser la variabilité climatique qui est à l'origine de cet événement inhabituel et déterminer si elle est d'origine naturelle ou **anthropique**. Dans l'exemple, choisi, la tempête est associée à une dépression météorologique, provoquant une surcote de la marée et des précipitations intenses.

Pour qu'un tel événement nous donne des raisons de nous y intéresser, il faut, bien entendu, que quelque chose soit exposé. Donc, en poursuivant notre conceptualisation, il nous faut considérer l'exposition à l'événement : y a-t-il des personnes, des objets, des **écosystèmes**, qui seront exposés « dans le chemin de l'eau » ? L'exposition seule ne suffit pas, non plus, à engendrer un risque. Il n'y aura de risque que s'il y a vulnérabilité, le troisième « pétale » de cette conceptualisation du risque climatique dans la **figure 10.1**. C'est donc la conjonction d'un événement, d'une exposition et d'une vulnérabilité, qui engendre le risque.

En fait, le contexte de ce risque n'est pas que climatique. L'exposition et la vulnérabilité s'inscrivent aussi dans un contexte social, économique, politique... dans un contexte de développement. C'est le développement de la société qui nous donnera, en retour, des options pour nous adapter en jouant sur la réduction des vulnérabilités ou des expositions. Le développement d'une société n'est pas indépendant des risques climatiques majeurs qu'elle peut subir. Une catastrophe climatique, réalisée ou prévisible, contraint certaines possibilités de développement de la société. À l'inverse, le choix d'options de développement peut, selon les cas, augmenter ou diminuer les risques d'avoir un **climat** qui engendre un tel événement « catastrophique ».

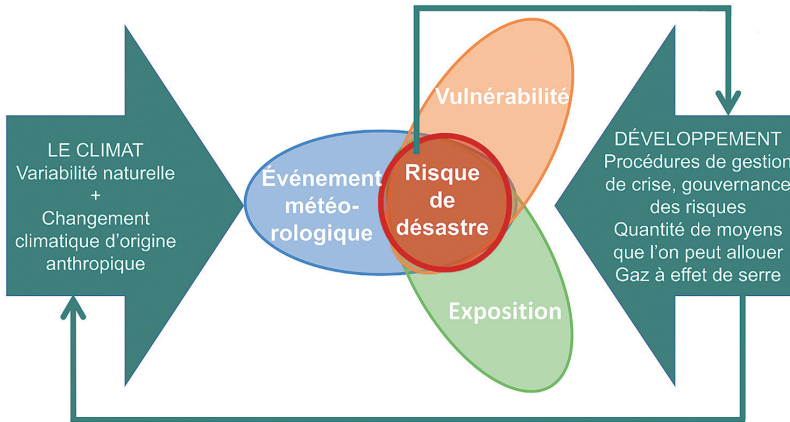


Figure 10.1 : Diagramme schématique reliant les notions d'exposition, de vulnérabilité et de développement dans le cas d'un événement climatique susceptible d'engendrer un risque important (d'après IPCC 2014, page 3).

10.3.3. Identification des facteurs de vulnérabilité et des leviers d'actions, l'exemple d'Ho Chi Minh Ville

Nous allons maintenant illustrer par une étude de cas qu'il est possible de passer d'une conceptualisation de la vulnérabilité / résilience à un travail sur le terrain destiné à identifier des leviers d'adaptation. Cette étude concerne la ville d'Ho Chi Minh Ville au Vietnam et les inondations qu'elle subit. Nous décrirons d'abord la

situation, puis nous analyserons l'exposition et la vulnérabilité des personnes, pour aboutir à une cartographie des risques à partir d'indicateurs préalablement choisis.

Le centre d'Ho Chi Minh Ville et son quartier financier sont traversés par le fleuve Saigon qui se trouve dans la zone d'influence des marées et qui, combiné à la rivière Dong Nai, amène les précipitations d'un bassin versant gigantesque. Outre le fleuve Saigon et la rivière Dong Nai, de nombreux canaux traversent aussi Ho Chi Minh Ville. Cette situation a poussé le gouvernement Vietnamien à développer des modalités de gestion du risque d'inondation en faisant appel à des partenariats pour une partie des études.

Ho Chi Minh ville connaît une très forte croissance démographique et un développement rapide, qui créent inévitablement des inégalités de richesse importantes. Si le centre-ville, produit de l'histoire, notamment de l'histoire coloniale, concentre des richesses depuis fort longtemps, il fait néanmoins face à des développements d'habitats précaires, de l'autre côté du fleuve (Fig. 10.2, haut), et se situe à quelques pas de développements immobiliers gigantesques.



Figure 10.2 : Illustrations du risque élevé d'inondation à Ho Chi Minh Ville. De haut en bas et de gauche à droite : - centre-ville, - habitats précaires de l'autre côté du fleuve, - canaux traversant la ville, - zone industrielle, - édifice patrimonial, - maison s'enfonçant dans le sol. Source : photo : Jean-Paul Vanderlinden (CC BY-NC-SA 4.0).

Avec la croissance démographique, les canaux dans la ville sont effectivement devenus de plus en plus occupés par les habitats précaires des nouveaux arrivants (Fig. 10.2 milieu, à gauche). Ceux-ci en sont parfois chassés, pour permettre le curage et le réaménagement des canaux et donc, contribuer à une meilleure gestion des inondations. Ces actions dépossèdent donc, en retour, les plus pauvres de leur logement.

Dans l'enchevêtrement humide que constitue Ho Chi Minh Ville, il y a aussi de l'industriel lourd (Fig. 10.2 milieu, à droite) et des édifices patrimoniaux toujours en usage, qui se trouvent au ras de l'eau et dont la fragilité ne fait aucun doute (Fig. 10.2 bas, à gauche). Certains lotissements pavillonnaires très étendus se trouvent même sous le niveau de l'eau. Les gens surélèvent alors leur maison pour éviter l'eau lors des inondations. De son côté, le gouvernement surélève les rues pour éviter qu'elles ne soient inondées, et l'eau coule alors dans les maisons. Non seulement des rues sont surélevées, mais des maisons s'enfoncent naturellement dans le sol (Fig. 10.2 bas, à droite). Et au milieu de tout cela, chacun et chacune essaient de se débrouiller.

C'est dans ce contexte que le projet de gestion des inondations s'est développé et que l'analyse exposition vulnérabilité / inondation a été menée. En suivant la conceptualisation présentée précédemment (Fig. 10.1), l'analyse s'est déroulée en quatre étapes: d'abord, la spécification de l'événement, ensuite l'analyse d'exposition, puis l'analyse de vulnérabilité, et enfin la combinaison des trois pour cartographier les risques.

Trois principaux paramètres ont été identifiés pour caractériser les inondations, les spécifier :

- la vitesse de l'eau, à la fois parce qu'une partie de la population est vulnérable à pied et qu'une partie des constructions ne résiste pas bien à l'érosion;
- la hauteur d'eau, car plus l'eau monte, plus le nombre d'éléments touchés est important, et plus les infrastructures de protection risquent d'être dépassées;
- la durée de l'inondation, car certains des habitats ne sont plus salubres en cas d'inondation prolongée alors qu'une grande part de l'activité économique, le petit commerce, se fait au niveau de la rue.

L'identification de ces trois caractéristiques prioritaires nous a permis, en combinant un modèle numérique d'élévation et un modèle hydrologique, de créer des événements de référence plus ou moins violents et de cartographier les caractéristiques associées à la vitesse de l'eau, la hauteur d'eau et la durée d'inondation. On obtient alors des cartes qui combinent les caractéristiques de l'inondation avec ce que l'on observe sur le terrain en termes d'habitat, de bâtiment précieux, d'infrastructures critiques (hôpitaux, réserves de carburant, prisons et autres éléments) et de population. Autrement dit, on obtient des cartes d'exposition.

Après avoir compilé les informations sur l'exposition aux inondations, il nous faut déterminer les vulnérabilités associées. L'analyse de vulnérabilité est aussi complexe que celle sur l'exposition. Elle implique la récolte d'un grand nombre de données, puis la construction d'indicateurs synthétiques qui sont, en quelque sorte, une mesure de la vulnérabilité. Dans le cas d'Ho Chi Minh Ville, trois indicateurs ont été utilisés, se concentrant sur des dimensions statistiquement indépendantes : la vulnérabilité due aux infrastructures (ex : maison insalubre), la vulnérabilité due à la démographie (ex : présence de personnes plus fragiles), et la vulnérabilité sociale (éducation, économie, pouvoir détenu). À nouveau, on établit une carte (Fig. 10.3) :

Une cartographie des vulnérabilités

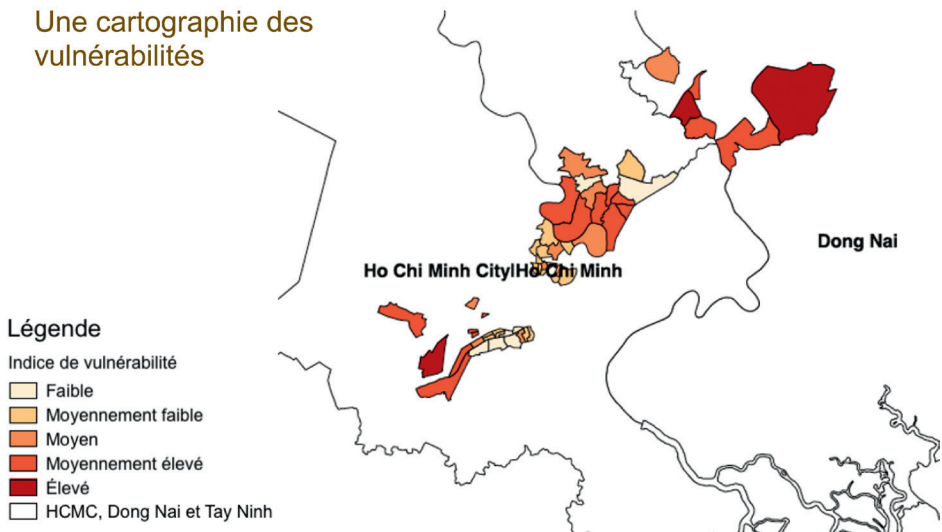


Figure 10.3 : Cartographie des vulnérabilités aux inondations dans la région d'Ho Chi Minh City. Source : Jean-Paul Vanderlinden.

L'étape suivante est de combiner les cartes de vulnérabilité aux cartes d'exposition. Nous aboutissons alors à une troisième série de cartes qui représentent les niveaux de dangerosité en termes d'exposition ET de vulnérabilité selon l'un des trois indicateurs de spécification de l'inondation, par exemple la hauteur d'eau.

À quoi cela sert-il du point de vue de l'adaptation ? Souvenons-nous que l'adaptation est notamment la réduction des vulnérabilités actuelles. L'analyse, que nous venons de présenter, permet de cibler les interventions possibles et de comparer, par exemple, différentes options. Quel quartier faut-il protéger en priorité ? Vaut-il mieux travailler sur l'exposition que sur la vulnérabilité ? Les infrastructures critiques sont-elles suffisamment protégées ? Les réponses à ces questions se trouvent sur les cartes de la [figure 10.4](#), qui représentent respectivement les niveaux de risque selon la position sociale, la salubrité des infrastructures et la fragilité des personnes en cas de hauteur d'eau élevée. Établir ces cartes a nécessité 3 ans de travaux d'une

équipe franco-vietnamienne de près d'une vingtaine de personnes ! L'adaptation doit commencer maintenant – et n'est pas nécessairement bon marché !

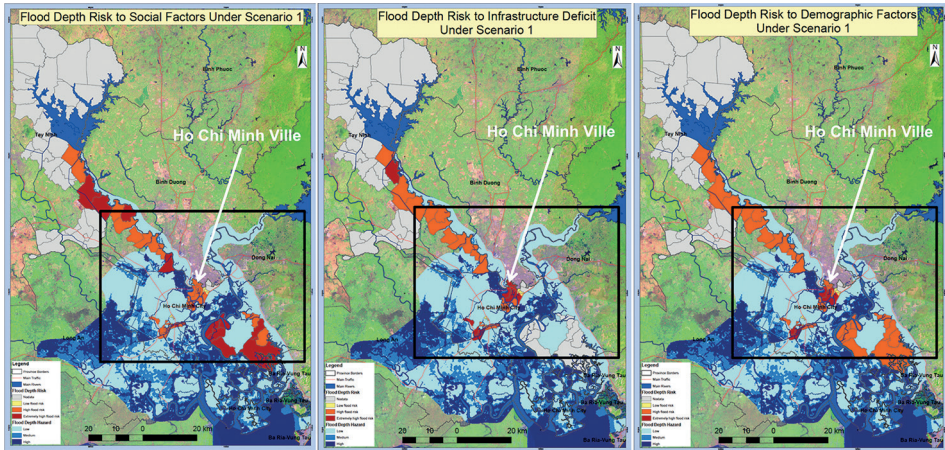


Figure 10.4 : Cartographies des risques associés à la hauteur d'eau selon les trois indicateurs de vulnérabilité dans la Province d'Ho Chi Minh Ville. De gauche à droite : facteurs sociaux ; déficit d'infrastructures ; facteurs démographiques. Le risque d'inondation, indiqué en bleu, va croissant du bleu clair au bleu foncé. Les risques associés à la hauteur d'eau vont croissant du jaune au rouge en passant par l'orange. Les zones en ocre clair sont celles pour lesquelles il n'y a pas de données. Source [2].

10.4. Planification territoriale de l'adaptation – Ch. da Cunha

10.4.1. Historique des plans d'adaptation et de leur mise en place

Les politiques internationales et nationales relatives au **climat** ont fait leur apparition dès les années 1990, peu après la publication du premier rapport du **GIEC**. À la fin de ces années, les premières villes, de grandes villes pour la plupart, ont ainsi réalisé leurs premiers plans climat.

En 1993, ICLEI (*International Council for Local Environmental Initiatives*) a lancé le programme « *Cities for Climate Protection* », l'idée étant de fournir une assistance technique aux villes qui voulaient mettre en place une planification de l'action climatique.

Jusqu'à la moitié des années 2000 environ, cette planification s'est principalement focalisée sur des actions d'atténuation du réchauffement climatique et beaucoup moins sur des stratégies d'adaptation au changement climatique.

En 2007, la Convention des Maires – un mouvement de coopération européen associant des autorités locales et régionales – a lancé son initiative « *Mayors Adapt* ».

En 2013, la Commission européenne adopte la première stratégie de l'Union Européenne sur l'adaptation au changement climatique. On y trouve des actions concrètes, y compris une proposition d'intégration de ces actions au sein d'autres politiques européennes.

En France, la première stratégie nationale d'adaptation paraît en 2006, suivie, en 2011 du premier plan national d'adaptation au changement climatique (le PNACC) qui propose, de façon plus détaillée, un ensemble de 84 actions exprimées en 242 mesures [3]. Le deuxième PNACC, sorti en 2018, se concentre sur les Solutions d'Adaptation Fondée sur la Nature (SAFN) et l'Outre-mer.

En 2015, la loi Grenelle 2 rend obligatoire l'adoption des plans climat-énergie territorial (PCET). La loi sur la transition énergétique pour la croissance verte ajoute la dimension « air » dans la planification climatique (PCAET). L'adoption d'un PCAET est désormais obligatoire pour l'ensemble des intercommunalités de plus de 20 000 habitants.

Ces PCAET n'imposent pas de directives contraignantes sur l'adaptation, mais des injonctions formelles de « réfléchir » aux effets du changement climatique. On voit ainsi se mettre en place une généralisation des réflexions régionales sur l'adaptation [4].

À défaut d'afficher directement des objectifs d'adaptation, la première *Convention Citoyenne pour le Climat*, constituée en octobre 2019, a également mené des réflexions sur nos manières de consommer, de travailler et de nous déplacer dans un monde changeant auquel il va falloir s'adapter.

10.4.2. Mise en place des stratégies locales d'adaptation

Les politiques d'adaptation des villes doivent tenir compte des changements à venir, mais aussi des actions qui sont déjà en cours et qu'elles doivent intégrer. L'articulation des politiques d'adaptation avec les autres politiques publiques est ainsi primordiale (Fig. 10.5).

Les actions planifiées ne doivent pas être redondantes avec celles déjà en place dans d'autres plans, notamment ceux en lien avec l'environnement. Ainsi, la plupart des PCAET sont réfléchis de manière à s'articuler avec le Schéma de Cohérence Territoriale, le Plan Local de l'Habitat, le Plans de Déplacements Urbains, et d'autres programmes spécifiques comme le Programme « Défi Zéro Gaspillage », la charte du PNR (Parc Naturel régional), la compétence GEMAPI (Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations) dans les zones côtières, etc.

Les approches d'adaptation diffèrent des approches classiques de la planification urbaine, où les tendances passées servent souvent de base pour la prise de nouvelles décisions. Une stratégie d'adaptation nécessite de prendre en compte les risques et les opportunités futures. Certaines villes procèdent ainsi à des évaluations détaillées des risques associés au changement climatique. D'autres se concentrent plus sur un type de vulnérabilité ou sur certains secteurs économiques.

Les PCAET en France se basent sur l'analyse des vulnérabilités actuelles à partir de données régionales ou locales disponibles, essentiellement celles émanant de **Climat HD** et de la DRIAS-les futurs du climat. Ils créent ainsi des **scénarios** locaux de risques et d'opportunités.



Figure 10.5 : Enjeux d'une politique d'adaptation.

10.4.3. Cas d'étude : New-York city

Nous prenons ici l'exemple de New York City (NYC) de manière à illustrer la façon dont des mesures institutionnelles d'adaptation peuvent être prises et les processus qui sont utilisés pour leur élaboration. La ville de New York est construite sur trois îles, Long Island, Manhattan, et Staten Island, et se trouve entourée de quatre rivières, dont seule, la Bronx River, est une rivière d'eau douce. Un chercheur, Eric Sanderson, en 2009, a recréé des cartes de ce qu'était New York au XVIII^e siècle [5]. L'image reconstituée de la **figure 10.6** représente ainsi les forêts de Times Square, les prairies de Harlem et les zones humides du centre-ville. On réalise à partir de cette image reconstituée que la ville d'aujourd'hui est construite sur une zone humide et donc potentiellement très vulnérable.

La tempête Sandy, et les dégâts qu'elle a causés en 2012, a été un tournant dans la prise de conscience des New-yorkais vis-à-vis des risques climatiques, accélérant du même coup le processus de planification. Le caractère urbain de New York, sa vulnérabilité et son interconnexion ont, en effet, amplifié l'impact de l'inondation due à la tempête Sandy. Une grande partie des infrastructures essentielles de la ville se trouvaient dans des zones inondées. Les installations et les services ont été complètement ou partiellement fermés pendant l'inondation et, pour certains d'entre eux, pendant de longues périodes après l'inondation. Les perturbations de réseaux de distribution, comme celui de l'électricité, ont affecté, en retour, les services de santé, les transports et les télécommunications, etc. La désorganisation s'est ainsi étendue bien au-delà des zones inondées. Autour des zones inondées, de nombreux habitants n'ont pas pu se rendre à leur travail et n'ont pas eu accès aux services.



Figure 10.6 : En haut : Image reconstituée de Manhattan il y a 400 ans. En bas : Image de Manhattan aujourd'hui. Source : *Modern Era Aerial Photo* @ Stephen Amiga, PPA, PAPA

La planification de l'adaptation a été intégrée dans un processus de planification plus global et préexistant à NYC. L'objectif sous-jacent est de rendre la ville « résiliente ». Les plans d'adaptation anticipent donc les changements à venir, qu'ils soient quotidiens ou liés à des événements extrêmes, Sandy devenant l'exemple de ce qui pourrait arriver plus souvent dans le futur.

Mais les plans d'adaptation visent aussi et, avant tout, l'amélioration de la qualité de vie de tous les New-yorkais. Des changements majeurs sont prévus sur le littoral en supplément des mesures d'adaptation du tissu urbain existant. Ils englobent des mesures « vertes » de restauration des **écosystèmes** (Fig. 10.7), mais aussi des mesures qui portent sur les comportements des New-yorkais ou leurs capacités d'action, comme la création de jardins communautaires, des projets de fermes urbaines et la participation des New-yorkais eux-mêmes aux projets de restauration de sites naturels. La caractéristique la plus frappante est certainement l'importance consacrée à la participation de la société civile, impliquant des réseaux mixtes (publics et privés), des ONG et des organisations communautaires qui sont très fortes à NYC.



Figure 10.7 : Projet de réaménagement/verdissage des berges en zone humide derrière Coney Island pour contrôler les eaux de crue (<https://www.gothamgazette.com/environment/4255-no-retreat-from-the-coastline>). Photo: Mayor's office - tous droits réservés.

La caractéristique la plus frappante de ces mesures est certainement l'importance accordée à la participation de la société civile, laquelle inclut des réseaux mixtes (publics et privés), des ONG et des organisations communautaires, très influentes à NYC.

L'exemple de Sandy à NYC ou de Xynthia sur la côte Atlantique n'est pas sans rappeler les effets de la crise du Covid-19, que l'on vit actuellement, quand on le regarde sous l'angle de l'événement extrême. Ce type d'événement nous apporte des éléments nouveaux qu'il faut analyser pour faire évoluer nos sociétés, notamment par le biais de la planification.

10.4.4. Défis restants pour la planification de l'adaptation au niveau local

Quatre principaux défis seront à relever pour réussir les plans d'adaptation (Fig. 10.8) [6, 7].

Le premier défi réside dans le transfert de connaissances. En France, si l'Agence de la Transition Écologique (ADEME) joue évidemment un rôle central dans la construction des PCAET pour ce qui concerne leur structuration et la généralisation

de certaines actions, le transfert de connaissances d'une intercommunalité à l'autre est rarement explicité dans les plans, et les actions les plus originales ne sont pas forcément reprises. Il apparaît nécessaire de comprendre pourquoi les municipalités ne tirent pas plus parti des retours sur expériences ainsi que des évaluations et des données des autres plans, du moins de façon explicite. On s'attend, par ailleurs, à ce que les agences régionales, les municipalités et les universités contribuent de façon plus significative au transfert de connaissances.

Le deuxième défi porte sur la participation de l'ensemble des parties prenantes, laquelle est essentielle pour une planification réussie de l'adaptation au climat. Même si la majorité des collectivités relève ce défi, peu d'entre elles y arrivent pleinement. Par exemple, la prise en compte des populations vulnérables reste très limitée. La collaboration avec le monde universitaire est souvent négligée. La participation des citoyens doit être encouragée. L'éducation populaire et les initiatives de science citoyenne pourraient notamment offrir davantage de possibilités de participation du public (voir section 10.5).

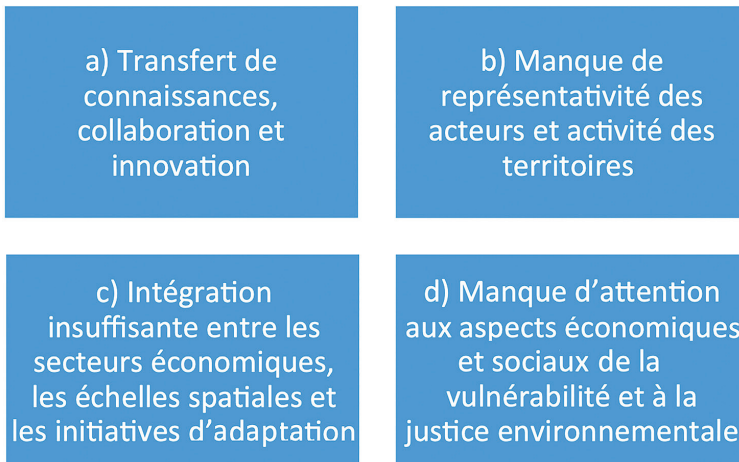


Figure 10.8 : Défis à relever pour réussir les plans d'adaptation aux changements climatiques

Le troisième défi est d'arriver à une meilleure intégration verticale entre les différentes échelles spatiales de la planification (territoire national, région, ville, quartier) ainsi qu'à une meilleure intégration horizontale entre les différents secteurs économiques, entre les services techniques des mairies ou encore entre les initiatives d'adaptation. Il est urgent pour les politiques publiques d'encourager et de faciliter l'intégration des différentes actions d'adaptation, en particulier celles qui apparaissent analogues d'un document de planification urbaine ou territoriale à l'autre.

Le quatrième défi et non des moindres est de s'appuyer sur une analyse plus approfondie des trois dimensions de la vulnérabilité humaine: l'exposition, la sensibilité et la capacité d'adaptation et de s'attaquer non seulement aux aspects

environnementaux mais aussi aux aspects sociaux et économiques de la préparation au changement climatique. Une attention plus explicite devrait être accordée à l'éradication du sans-abrisme ou du mal-logement, à la réduction de la pauvreté, à la sécurité alimentaire urbaine, à l'accès à des prix abordables pour les soins de santé, à la multimodalité et à la sécurité publique et, de manière plus générale, à la continuité des services publics [8].

10.5. Enjeux de gouvernance – R. Brett

10.5.1. Décision politique et protection de l'environnement

Nombre de philosophes l'ont mis en évidence : le cadre politique et institutionnel contemporain ne permet pas d'apprécier les catastrophes écologiques à leur juste mesure ni de permettre l'élaboration de solutions adaptées aux défis du XXI^e siècle. La situation qui voit les partis politiques et leurs dirigeants principalement soucieux de satisfaire aussi rapidement que possible les intérêts de leurs électeurs dans la perspective d'une élection toute proche, rend hypothétique la poursuite d'une réflexion et d'une action politique sur le long terme comme l'exige pourtant la résolution des défis écologiques. Ainsi que l'écrivait Michel Serres dans son *Contrat nature!* [9] : « Pour sauvegarder la Terre ou respecter le temps, au sens de la pluie et du vent, il faudrait penser vers le long terme, et, pour n'y vivre pas, nous avons désappris à penser selon ses rythmes et sa portée ».

L'exercice du pouvoir par un petit nombre d'élu(e)s au cours d'un mandat limité à cinq ans ne peut donc être entièrement satisfaisant. Convierait-il pour autant qu'un gouvernement de spécialistes, dont la légitimité découlerait moins d'une élection que de compétences scientifiques reconnues, soit établi pour une durée indéterminée afin de prendre les décisions qui s'imposent ? Il semble qu'une telle « technocratie » ne soit évidemment pas souhaitable en raison des risques qu'elle ferait planer sur l'ensemble des libertés. Il ne faut du reste pas oublier que toute décision politique, même lorsqu'elle revêt un haut degré de technicité – comme la mise sur le marché d'un nouveau [pesticide](#) par exemple – est le fruit de la représentation que s'en font les décideurs et donc leurs électeurs. En outre, technique et science sont en partie des constructions sociales qui traduisent certaines représentations du monde nécessitant d'être questionnées et contextualisées. En ce sens, on ne peut que suivre Catherine et Raphaël Larrère lorsqu'ils affirment, dans *Du bon usage de la nature – Pour une philosophie de l'environnement* [10], que « L'idée de construction sociale du risque (...) exige que la nature et sa science soient portées à l'intérieur de la société, qu'elles deviennent objets d'un débat public ».

L'approche renouvelée des modalités de prise de décisions qui engagent le futur de la société impose tout d'abord de tirer toutes les conséquences des

enseignements des sciences à l'occasion de l'adoption des règles qui régissent le collectif, telles que la loi ou le règlement par exemple et nécessite, ensuite, que soit inclut le plus grand nombre d'individus dans le processus d'élaboration de la norme.

S'il ne convient pas de s'en remettre aux scientifiques pour prendre les décisions, il importe néanmoins de mieux intégrer les contraintes écologiques – contemporaines et surtout à venir – identifiées par ces derniers, dans les politiques publiques et les normes juridiques. Inclure le long terme dans les décisions ne revient d'ailleurs pas à décider du long terme, mais consiste plutôt à organiser des procédures par lesquelles la société pourra, par exemple, aborder rationnellement ce que la raison ne peut encore trancher, à savoir des questions scientifiques non résolues.

À l'heure actuelle, les processus normatifs organisent davantage la conciliation d'impératifs contradictoires au lieu de permettre la véritable intégration du souci écologique dans l'action publique. Le Droit tente souvent d'arbitrer entre le développement économique et la protection de l'environnement plutôt que de considérer l'environnement comme la toile de fond du développement économique sans laquelle rien n'est possible. Ce faisant, il tente de faire coexister les intérêts au lieu de les faire converger.

La Charte de l'environnement adossée à notre Constitution⁹¹ illustre parfaitement cette ambiguïté puisqu'après avoir rappelé en son préambule que « la préservation de l'environnement doit être recherchée au même titre que les autres intérêts fondamentaux de la Nation » – procédant ainsi à une égalitarisation peu pertinente des intérêts – elle énonce en son article 6 que les politiques publiques concilient la protection et la mise en valeur de l'environnement, le développement économique et le progrès social.

10.5.2. L'importance de la participation de tous à la prise de décision

Les processus normatifs devraient donc intégrer davantage les contraintes scientifiquement établies. Néanmoins l'instauration d'un tel dialogue entre scientifiques et décideurs (élus ou administrations) nécessiterait que soit menée une réflexion profonde sur le statut du chercheur et sur la place de la recherche dans la société. Mais même déployé dans de saines conditions, ce dialogue aurait pour effet de rendre le reste de la société totalement aphone. Si l'on admet avec Jürgen Habermas (*Droit et démocratie* [11]) que la légitimité d'une norme est moins à rechercher dans son contenu que dans la procédure aboutissant à son adoption, il y a effectivement lieu de repenser les modalités d'intervention des

91. Loi constitutionnelle n° 2005-205 du 1er mars 2005 :

<https://www.legifrance.gouv.fr/contenu/menu/droit-national-en-vigueur/constitution/charte-de-l-environnement>

individus et des groupes sociaux organisés – ce que l'on appelle la société civile – dans les processus normatifs qui les concernent, dans le sens de leur plus grande participation.

En France, c'est par rapport aux questions environnementales que la démocratie participative s'est développée le plus. Il ne faut pas y voir le fait du hasard, bien loin d'être un sujet exclusivement technique, l'environnement est d'abord un sujet social : ce qui nous entoure, nous environne, c'est ce qui nous construit. Ce qui se joue dans notre rapport à l'environnement, c'est notre humanité, notre façon d'être au monde et d'exister. Il est donc naturel, si l'on ose dire, que nous aspirons plus ou moins intensément à décider de notre cadre de vie. Le droit se fait l'écho de cette préoccupation : l'article 7 de la Charte de l'environnement énonce ainsi que « Toute personne a le droit (...) de participer à l'élaboration des décisions publiques ayant une incidence sur l'environnement ».

Mais de Débats publics en Conventions citoyennes, il ne semble pas que les pouvoirs publics aient encore trouvé les bonnes formules permettant d'associer efficacement la population à l'exercice du pouvoir, dans la double perspective de l'amélioration de la qualité de l'environnement et de l'acceptation des normes. Les récentes difficultés que les gouvernants ont pu connaître à Sivens, Notre-Dame-des-Landes ou encore à l'occasion du mouvement des « gilets jaunes » en sont des exemples dramatiques. Et même, lorsque « la formule » semble fonctionner, ces décideurs ne paraissent pas réellement prêts à donner toute sa portée à l'expression citoyenne, ainsi que le démontre le destin des propositions de la Convention citoyenne sur le climat.

Il importe de souligner que la montée en puissance de l'expert et la réappropriation de la chose publique par les gouvernés ne font en aucun cas disparaître les représentants traditionnels, politiques ou administratifs, qui demeurent les véhicules incontournables permettant à la volonté générale et à l'intérêt général de s'incarner. Sans prétendre du tout les remplacer, ces deux mouvements ont uniquement pour effet de les remettre à leur juste place.

On insistera enfin sur l'importance de la conscientisation des individus, quel que soit leur âge. En effet, les citoyens ne peuvent délibérer rationnellement à propos de sujets aussi complexes que les sujets écologiques sans avoir bénéficié au préalable d'une éducation à l'environnement qui leur permette, sinon de maîtriser avec précision l'ensemble des données d'un problème spécifique, au moins d'en comprendre les enjeux, tenants et aboutissants. Ce n'est qu'au prix d'un investissement certain à la fois individuel et collectif qui aurait pour but la compréhension des équilibres naturels que pourrait s'épanouir une **gouvernance** politique de l'environnement efficace et apaisée qui ouvrirait la voie à la construction d'une authentique *Cité écologique* (Serge Audier [12]).

10.6. Domaine de la santé : adaptation aux températures élevées – R. Slama

L'adaptation des sociétés humaines au réchauffement climatique est abordée ici dans le domaine de la santé, prolongeant ainsi l'analyse de l'impact sanitaire des températures élevées, qui a été faite précédemment (voir section 8.4.1).

10.6.1. Situations à New York et en France durant les dernières décennies

Comme nous l'avons vu, la relation dose-réponse, qui relie la température et la mortalité n'est pas la même dans des villes comme Stockholm et Londres. On ne peut pas incriminer des différences génétiques entre les populations de Londres et de Stockholm pour expliquer l'essentiel de cette différence, comme d'ailleurs entre les populations de toutes les grandes villes. D'une part, les différences génétiques sont très limitées d'une ville à l'autre, surtout au sein d'un même continent, et d'autre part, ce sont surtout des raisons sociétales, liées au mode de vie, qui expliquent les écarts observés.

Pour aborder la question de l'adaptation au changement climatique du point de vue de la santé, il est pertinent d'étudier l'évolution de la mortalité au cours du temps pour une ville donnée. C'est une étude de ce type qu'ont menée des épidémiologistes américains dans la ville de New York, où l'on dispose d'un registre de la mortalité sur une très longue période. Ils ont ainsi pu établir des relations dose-réponse entre températures élevées et mortalité comme celles rapportées sur la [figure 10.9](#) tout au long du XX^e siècle. Chaque courbe de la figure correspond à une décennie entre 1900 et 2010. L'examen de la hauteur des courbes pour une température donnée nous indique la sensibilité de la population new-yorkaise à différentes périodes, selon le niveau. Nous constatons qu'à une température donnée, la mortalité (ou plus précisément, le « sur-risque » de mortalité par rapport aux températures « confortables »), a très fortement décliné au cours du XX^e siècle. Par exemple, à 30°, le risque de décès était multiplié par deux dans les années 1900 (une augmentation de 100%), alors que dans les années 2000, il n'est plus multiplié que par 1,1 à 1,2 (une augmentation de 10 à 20%).

Cette décline spectaculaire n'est évidemment pas due au fait que les New-yorkais aient muté génétiquement et que leurs organismes se soient adaptés aux températures élevées. Il faut beaucoup plus de temps à des mutations génétiques pour se répandre dans une population, quelle que soit la façon dont elle se produit, même dans un contexte d'immigration comme à New York. D'autres mécanismes sont en jeu à l'échelle de la société, sur lesquels nous reviendrons.

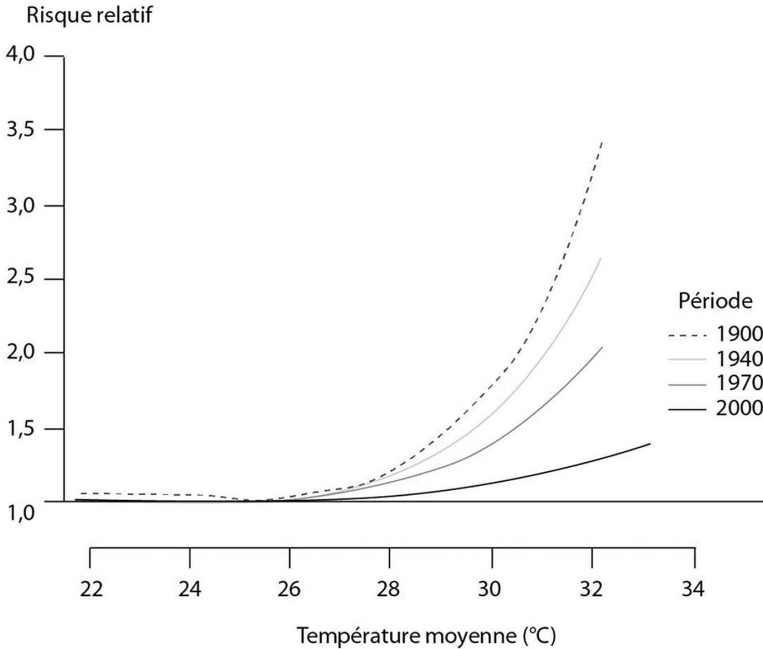


Figure 10.9 : Évolution du risque de mortalité en fonction de la température au cours du XX^e siècle dans la ville de New York. Source : Rémy Slama, *Le mal du dehors, l'influence de l'environnement sur la santé*, Quae éditions, 2017, Paris [13].

Demandons-nous tout d'abord si la même évolution a eu lieu en France. C'est à Alain Jacques Valleron [14], de l'Académie des sciences, que nous devons une étude similaire, mais sur une période moins longue. En France, nous ne disposons, en effet, d'un enregistrement des causes de décès, faite de façon fine par l'INSERM, que depuis 1968. Le temps écoulé est toutefois suffisamment long pour se faire une idée de l'évolution. Les résultats de l'étude sont synthétisés dans le [tableau 10.1](#). Lorsque l'on considère séparément trois périodes entre 1968 et 2009, l'étude met en évidence que le risque individuel de mortalité à la température de 25 °C, rapporté à celui à la température de référence de 18 °C, a quelque peu évolué au cours du temps. De 1,18 dans la première période, le rapport est passé à 1,15 dans la dernière période. La variation n'est pas spectaculaire, car on aboutit seulement à une diminution de trois points en pourcentage. Néanmoins, l'évolution va bien dans le même sens que celle observée à New York sur une période beaucoup plus grande et dans une société très différente.

Peut-on alors conclure que *l'impact sanitaire* des températures élevées a diminué au cours des dernières décennies en France comme à New York ? C'est, en fait, plutôt le contraire qui est vrai, à savoir que globalement, on souffre davantage des températures élevées. Pourquoi ? Il faut d'abord préciser ce qu'on entend par impact sanitaire : il s'agit du nombre de cas d'une pathologie donnée ou de décès attribuables à un facteur donné (ici la température). Or la relation dose-réponse, comme celles

représentées sur la [figure 10.9](#) pour New York, ne suffit pas à l'estimer; il faut la combiner avec la distribution de la température tout au long de l'année. Si on regarde plus attentivement le tableau, on constate qu'en France, le nombre de jours avec des températures très élevées (les [vagues de chaleur](#)) a très fortement augmenté au cours du temps: il a presque triplé des années 1970 aux années 2000. L'impact sanitaire – le nombre de décès attribuables aux [vagues de chaleur](#) – s'obtient en combinant l'effet individuel de la chaleur avec la fréquence des jours «chauds». Ici, bien qu'au niveau individuel, le risque de mortalité diminue un peu, l'augmentation forte de l'événement étudié – la canicule – entraîne une augmentation probable de l'impact populationnel.

Périodes	Température moyenne en été (°C)	Température moyenne en hiver (°C)	Jours de vague de Chaleur	Jours de vague de froid	Température de mortalité minimale	Jours de température > température minimale	Rapport entre taux de mortalité à 25°C et 18°C
1968 -1981	17,6 ± 1,4	4,2 ± 1,8	6,8 ± 6	8,2 ± 2,4	17,5 °C ± 1,4	825 ± 228	1,18 ± 0,12
1982 -1995	18,6 ± 1,5	4,6 ± 1,8	5,8 ± 4,0	22,6 ± 3,5	17,8 °C ± 1,5	962 ± 243	1,16 ± 0,08
1996 -2009	19,2 ± 1,5	5,0 ± 1,7	16,7 ± 5,5	8,9 ± 2,9	18,2 °C ± 1,6	994 ± 262	1,15 ± 0,08

Tableau 10.1: Évolution du risque individuel de mortalité lié aux températures chaudes pour 3 périodes en France. D'après l'étude de Jacques Valleron [14].

10.6.2. Pratiques à mettre en œuvre pour l'avenir

Revenons à New York et interrogeons-nous sur les causes de l'atténuation de l'effet d'une température donnée au cours du siècle passé, c'est-à-dire l'aplatissement des relations dose-réponse de la [figure 10.9](#). Nous avons écarté l'hypothèse d'une modification rapide de l'organisme. En fait, c'est la société qui s'est adaptée. Si la société new-yorkaise et la société américaine dans son ensemble ont réussi à s'adapter aux températures élevées, c'est en sachant mieux guérir les maladies et troubles que la chaleur rend plus fréquents, et en protégeant mieux les habitants des chaleurs élevées, notamment en généralisant les climatisations et les climatiseurs individuels, au domicile et dans les véhicules. Or, cette dernière solution augmente fortement la chaleur en dehors des habitats et contribue à créer des îlots de chaleur. Les personnes qui n'ont pas les moyens d'avoir des climatiseurs et celles qui sont dans la rue vont alors subir des températures plus élevées. On risque donc accroître les inégalités sociales et la sensibilité de certaines catégories sociales aux événements climatiques. À cette première conséquence néfaste s'ajoute le fait que les

climatiseurs consomment beaucoup d'énergie. Dans un pays comme les États-Unis où l'électricité est en grande partie produite à partir des sources d'énergie fossiles, cette consommation électrique se traduit ainsi par de fortes émissions de CO₂. En outre, les premiers climatiseurs installés, qui sont pour certains toujours en fonctionnement, émettent aussi des chlorofluorocarbones, qui contribuent à la fois au réchauffement climatique et à la destruction de la couche d'ozone. La figure 10.10 illustre l'augmentation régulière de CO₂ émis aux États-Unis depuis les années 2000, et la généralisation des climatiseurs.

En fait, en s'adaptant localement aux effets du changement climatique, on a amplifié ce phénomène à l'échelle globale. C'est une course en avant qui n'est absolument pas tenable à moyen terme à l'échelle de la planète. L'exemple des États-Unis ne pourrait être transposé à l'ensemble des pays du globe. Si tous les pays se mettaient à émettre autant de gaz à effet de serre que les États-Unis, ils rendraient très rapidement le climat encore plus rapidement intenable qu'il n'est sur la trajectoire suivie actuellement.

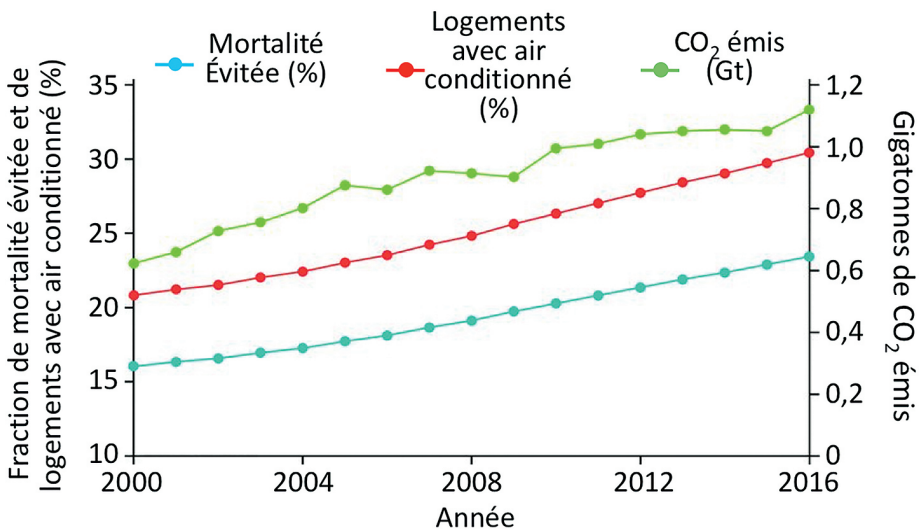


Figure 10.10 : Évolutions récentes aux États-Unis – du pourcentage de mortalité évitée par l'utilisation de climatiseurs (en bleu clair), – du pourcentage de logements pourvus de climatiseurs (en rouge) – et des quantités de gaz carbonique émis dans l'atmosphère [15].

Il faut donc trouver d'autres solutions pour se protéger des températures élevées. On peut imaginer de nouvelles technologies plus ou moins complexes, mais on peut aussi se tourner vers des solutions du passé, à des époques et dans des lieux où les humains subissaient déjà des températures élevées de façon chronique. Pour s'adapter, les modes de vie de ces populations tenaient compte de certains rythmes circadiens en évitant des activités très physiques et fatigantes dans les périodes de pleine chaleur. Transposé à notre époque et en France, ce serait

notamment favoriser les pauses méridiennes et travailler à des horaires différents de nos horaires classiques de bureau.

On peut aussi s'inspirer de l'urbanisme qu'adoptaient, par exemple au XIII^e siècle, les Omeyyades en Andalousie avec les jardins de l'Alhambra (Fig. 10.11) : construire (ou réhabiliter) des villes en exploitant à la fois des espaces verts et des espaces bleus, c'est-à-dire, avec un recours très fort à l'eau pour permettre, dans une certaine mesure, de tempérer l'**atmosphère** locale. Il faut imaginer l'équivalent moderne des jardins de l'Alhambra. On peut aussi reproduire avec les moyens d'aujourd'hui les architectures qu'on trouvait par exemple sur les îles grecques, il y a plusieurs siècles, avec des habitations peintes tout en blanc et des fenêtres relativement petites. C'est d'ailleurs une solution qui commence à être adoptée dans une ville comme New York où l'on peint les toits des immeubles en blanc. Ce choix d'un **albédo** plus propice à réfléchir une fraction importante de l'**énergie** que nous envoie le soleil, pourrait d'ailleurs être étendu aux rues en macadam très sombre qui absorbe fortement la chaleur.



Figure 10.11 : Vue des jardins de l'Alhambra réalisés au XIII^e siècle en Andalousie – Source : Jean-Pierre Dalbéra (Creative Commons 2.0). [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LAlhambra_de_Grenade_\(8356975975\)_2.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LAlhambra_de_Grenade_(8356975975)_2.jpg).

En résumé, nous voyons qu'il y a dans certaines sociétés, qu'elles soient riches et modernes ou qu'elles soient anciennes et ingénieuses, tout un ensemble des solutions qui pourraient nous permettre de mieux nous adapter aux températures élevées en modifiant l'urbanisme de nos villes. D'autres solutions, comme celles basées sur l'usage intensif de climatisation individuelle, et alimentée par des **énergies** émettrices de **gaz à effet de serre**, risquent au contraire d'accroître le changement climatique. Dans la recherche des solutions d'adaptation, il est ainsi indispensable de ne pas nous limiter à une seule facette du problème, mais de considérer simultanément les aspects sociétaux, les aspects environnementaux et les aspects sanitaires.

10.7. Domaine de l'agriculture : adaptation aux sécheresses – J.-C. Bureau

10.7.1. Le problème des ressources en eau

En 2009, une équipe internationale de 26 chercheurs, menés par Johan Rockström du *Stockholm Resilience Centre* et Will Steffen de l'*Université nationale australienne*, publie un article dans les revues *Nature* et *Ecology and Society* [16] dans lequel elle identifie neuf limites planétaires à ne pas dépasser si l'humanité veut pouvoir se développer dans un **écosystème** sûr, c'est-à-dire évitant les modifications brutales, non-linéaires, potentiellement catastrophiques et difficilement prévisibles de l'environnement (Fig. 10.12) : le réchauffement climatique, l'**acidification des océans**, les flux biogéochimiques, l'ozone stratosphérique, etc. Parmi les neufs « limites », plusieurs d'entre elles concernent assez directement l'agriculture en étant aussi les plus proches d'être dépassées, voire même d'être réellement au-delà des capacités d'adaptation de la planète. C'est notamment le cas de la pollution azotée et de l'effondrement de la **biodiversité**.

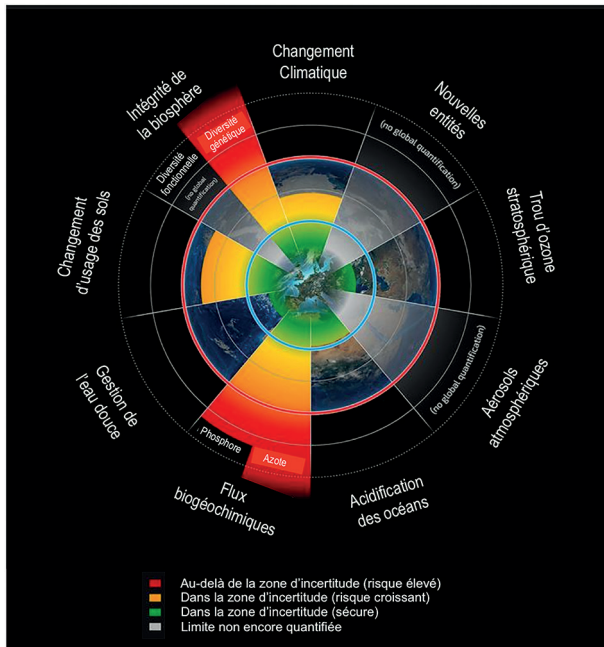


Figure 10.12 : Les limites planétaires. Image inspirée de [17] – Design : Globaia.

La gestion de l'eau douce est une autre limite sur laquelle intervient l'agriculture. L'agriculture est, en effet, le premier secteur qui prélève de l'eau douce en quantité. Selon le cycle naturel de l'eau (voir section 2.4), une partie de l'eau douce, qui

se forme dans l'**atmosphère** par évaporation des océans ou par transpiration des végétaux, finit par se condenser et retourner à la terre grâce aux précipitations... mais pas nécessairement au moment et à l'endroit où l'on souhaiterait que l'eau revienne. Dans un pays d'agriculture comme la France, les **sécheresses** et les événements extrêmes sont de plus en plus fréquents, et il devient de plus en plus difficile de cultiver certaines plantes sans irrigation, en particulier dans le sud de la France. À titre d'exemple, les cultures de maïs, très répandues dans le sud-ouest, souffrent souvent d'un déficit de pluie, car les semences se font assez tardivement au printemps, et il est alors nécessaire d'utiliser l'irrigation et les réserves en eau du sol.

Or, l'irrigation se fait souvent au détriment des rivières, de plus en plus fréquemment à sec ou avec un débit insuffisant pour diluer les pollutions. Un assèchement, même temporaire, nuit gravement à la **biodiversité**, car la base de la chaîne alimentaire est constituée d'insectes qui ont une phase aquatique. Au niveau mondial, environ la moitié de l'eau utilisée pour l'irrigation agricole vient de nappes phréatiques fossiles [18]. Celles-ci connaissent des problèmes de baisse de niveau et d'épuisement dans de nombreuses régions du monde, tout particulièrement dans le sous-continent indien, l'Asie centrale, la Chine, et une partie de l'Afrique [19]. Les difficultés de recharge de ces nappes se multiplient aussi en France où l'irrigation doit, de plus en plus souvent, être limitée ou interdite en été.

En France, les agriculteurs tentent de réduire les prélèvements dans les rivières et nappes souterraines en construisant des bassins de rétention de l'eau de pluie pour irriguer. Les effets ne sont pas toujours favorables à l'environnement, car dans de tels bassins, l'eau se réchauffe et fait potentiellement le lit de bactéries, dont des cyanobactéries toxiques, qui peuvent se diffuser en aval du versant. En bref, l'irrigation, bien que de plus en plus nécessaire, a souvent des effets pervers.

Il existe des solutions techniques pour économiser l'eau d'arrosage, ce qu'on appelle le goutte-à-goutte, mais ces solutions sont souvent coûteuses.

10.7.2. S'adapter aux sécheresses grâce à de nouvelles cultures et des cultivars⁹²

À court terme, un moyen simple d'action pour s'adapter aux **sécheresses** à répétition consiste à changer les plantes qu'on cultive. Ainsi, plutôt que de cultiver du maïs qui demande de grandes quantités d'eau dans les mois de juin et juillet, on peut passer à des cultures plus économes en eau, surtout en été. Certains agriculteurs dans le sud-ouest de la France commencent effectivement à cultiver le sorgho à la place du maïs (Fig. 10.13). Le sorgho est une céréale originaire d'Éthiopie, résistante à la **sécheresse** et qui est, de ce fait, largement cultivée en Afrique, en Inde et en Amérique du Sud, aussi bien pour ses graines dans l'alimentation humaine que pour son foin.

92. http://www.vivreici.be/videos/detail_secheresse-l-agriculture-va-devoir-s-adapter?videoid=1568948

dans l'alimentation animale. Cela étant, le maïs irrigué, plus rentable reste encore largement dominant. L'évolution vers des cultures moins consommatrices d'eau comme le sorgho est freinée par le fait que les agriculteurs paient peu l'eau prélevée dans les nappes et reçoivent des subventions aux infrastructures d'irrigation.



Figure 10.13 : Culture de sorgho en Haute Garonne (France). Source : Gyrostat (Creative commons 4.0).

Parmi les mesures d'adaptation aux [sécheresses](#), on peut aussi recourir à d'autres façons de les cultiver. De nouvelles démarches agronomiques sont explorées dans ce sens comme le fait d'associer plusieurs plantes sur la même terre de culture ou de favoriser la présence de matière organique dans les sols. On parle alors de méthodes culturales.

Sur le long terme, il semble nécessaire d'adapter les cultures en sélectionnant des plantes plus aptes à résister à la [sécheresse](#). Pour ce faire, certains pays misent surtout sur la modification du génome, ce qu'on appelle le génie génétique, considéré par eux comme un secteur d'avenir pour l'adaptation des plantes aux [sécheresses](#). En France, les résistances sociales au génie génétique sont fortes. À plus long terme aussi, une solution consiste à pratiquer la sélection génétique des plantes cultivées sans recourir, pour autant, à des modifications génétiques. L'industrie agricole et les centres de recherches en agronomie testent, en effet, en permanence de nouveaux croisements entre des variétés de plantes ou de fruits pour arriver à créer des produits qui réunissent les qualités requises. On parle de [cultivars](#), mot emprunté à la langue anglaise pour désigner une variété cultivée (*CULTivated VARIety*). La création de nouveaux [cultivars](#) est longue, car il faut parfois plusieurs dizaines d'années pour s'assurer qu'aux principales qualités requises (présentement, l'adaptation à la [sécheresse](#)), soient aussi réunies les conditions de production régulière et uniforme, de résistance aux maladies et aux intempéries, etc. Pour proposer des [cultivars](#) adaptés aux [sécheresses](#) à répétition, on peut, par exemple, sélectionner dans un panel de variétés, celles qui sont les plus précoces dans la saison et voir si cette précocité se traduit effectivement par un avantage compétitif. On peut aussi rechercher des plantes dont les racines s'enfoncent profondément dans la terre pour puiser l'eau et régénèrent en même temps le sol en y stockant du carbone. Comme

nous l'avons vu précédemment (section 2.6.2), le stockage du carbone favorise la fertilité du sol sur le long terme. Un sol riche en matière organique joue aussi un rôle d'éponge qui permet en retour de stocker plus d'eau. De nombreuses recherches de ce type sont aujourd'hui menées en parallèle avec le développement des nouvelles méthodes de culture.

10.7.3. Des changements de culture à l'agroforesterie, l'exemple du Sahel

D'après la vidéo produite par le CIRAD:(Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) : <https://www.youtube.com/watch?v=kCYG2e9Xt60>

Diversifier les cultures et réfléchir à leur impact sur plusieurs années, c'est aussi planter des arbres en les associant aux cultures et aux pâturages, ce qu'on appelle l'agroforesterie. Dans les régions sèches en particulier, l'agroforesterie fait partie des quelques techniques utiles pour affronter les questions du changement climatique, que ce soit les questions de mitigation ou les questions d'adaptation.

Les systèmes agroforestiers offrent de nombreux avantages, certains connus depuis toujours, d'autres révélés récemment par la science. Un premier avantage évident est de créer des zones d'ombre, notamment pour revitaliser les pâturages soumis à rude épreuve en période de **sécheresse**. Un deuxième avantage est de permettre le piégeage du carbone en grande quantité dans les sols, car la **biomasse** d'un arbre contient beaucoup plus de carbone que les plantes céréalières. Un autre avantage encore tient au phénomène d'**évapotranspiration** des arbres, qui permet aux forêts de propager les pluies (voir section 7.4).

Un exemple emblématique des bienfaits de l'agroforesterie est celui du Sahel, région d'Afrique particulièrement soumise aux **sécheresses** où l'arbre nommé *Faidherbia albida* (Fig. 10.14) est véritablement clé en matière d'adaptation aux changements climatiques.



Figure 10.14: Image d'un *faidherbia albida* au Sénégal abritant un troupeau de chèvres. Source: NoahElhardt (Creative commons 4.0 International).

Cet acacia améliore la fertilité des sols, fournit du bois aux populations et du fourrage au bétail pendant la saison sèche. Il a cette caractéristique extraordinaire de phénologie inversée, qui favorise le développement de ses feuilles en saison sèche, juste au moment où les éleveurs ont besoin de fourrage. Le *Faidherbia albida* est aussi capable d'absorber l'azote de l'air et de le restituer aux cultures. Grâce à ses racines très profondes, non seulement il va profiter des ressources en profondeur pour sa propre croissance, mais il est aussi capable de remonter une partie de ces ressources d'eau et de minéraux vers la surface.

Un autre bénéfice rendu par ce type d'arbre vient d'être révélé par des scientifiques du Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique) dans le cadre d'un partenariat international; la présence de l'arbre en relativement grande densité dans un champ limite les attaques de chenilles aux cultures. Pour comprendre ce phénomène, les chercheurs ont croisé des données écologiques avec l'analyse du paysage. Les chercheurs en sont venus à la conclusion que ces arbres seraient un refuge pour des oiseaux, des chauves-souris et des insectes, ennemis naturels des chenilles. L'agroforesterie permettrait donc aussi de protéger naturellement les cultures contre les ravageurs. Cette découverte est un argument supplémentaire pour inciter les agriculteurs à conserver les arbres dans leurs champs.

En résumé, l'agroforesterie cumule de nombreux avantages tels que le stockage du carbone, l'adaptation au changement climatique, le maintien de la fertilité des sols et la protection des cultures. Cette solution, qui est un modèle d'adaptation pour les pays tropicaux, peut aussi être (re)transplantée dans nos pays tempérés. Faisons juste appel à notre mémoire en nous souvenant, par exemple, de l'agroforesterie des bocages : une pratique que l'on a un peu perdu et qui mériterait d'être retrouvée.

Références

- [1] C.S. Holling. 1973. "Resilience and stability of ecological systems". *Annual Review of Ecology and Systematics*. Vol.4 :1-23, (1973).
- [2] IPCC. 2014. Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., VR. 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, P.R. Mastrandrea, L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.
- [3] ONERC. 2017. Vers un 2^e plan d'adaptation au changement climatique pour la France. Enjeux et recommandations. La documentation française, Paris, pp.229. ISBN : 978-2-11-145442-2.
- [4] E. Richard. 2014. L'action publique territoriale face au défi de l'adaptation : déterminants et effets de la prise en compte des changements climatiques à l'échelle régionale. *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement* Hors-série **20**. 10.4000/vertigo.15283.

- [5] E.W. Sanderson, M. Boyer (Illustrator). 2009. *Mannahatta: A Natural History of New York City*. Abrams Books. ISBN 0810996332.
- [6] E. Lioubimtseva, C. da Cunha. 2020. Local climate change adaptation plans in the US and France: comparison and lessons learned in 2007-2017. *Urban Climate* **31**, 100577. doi: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100577>.
- [7] D. Reckien, M. Salvia, O. Heidrich, J.M. Church, F. Pietrapertosa, S. De Gregorio-Hurtado, V D'Alonzo, A. Foley, S.G. Simoes, E. Krkoška Lorencová, H. Orru, K. Orru, A. Wejs, J. Flacke, M. Olazabal, D. Geneletti, E. Feliu, S. Vasilie, C. Nador, Krook- A. Riekkola, M. Matosović, P.A. Fokaides, B.I. Ioannou, A. Flamos, N.-A. Spyridaki, M.V Balzan, O. Fülöp, I. Paspaldzhiev, S. Grafakos, R. Dawson. 2018. How are cities planning to respond to climate change? Assessment of local climate plans from 885 cities in the EU-28. *Journal of Cleaner Production* **191**, 207-219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.220>.
- [8] I. Anguelovski, L. Shi, E. Chu, D. Gallagher, K. Goh, Z. Lamb, K. Reeve, H. Teicher. 2016. Equity impacts of urban land use planning for climate adaptation: critical perspectives from the Global North and South. *Journal of Planning Education and Research* **36**, 333-348. 10.1177/0739456x16645166.
- [9] M. Serres. 2020. *Le contrat naturel* (1990). Flammarion, coll. «Champs essais».
- [10] C. Larrère et R. Larrère. 2009. *Du bon usage de la nature – Pour une philosophie de l'environnement*. Flammarion, coll. «Champs essais».
- [11] J. Habermas. 1997. *Droit et démocratie*. Gallimard, coll. «Nrf essais».
- [12] S. Audier. 2020. *La Cité écologique – pour un éco-républicanisme*. La découverte, coll. «Sciences humaines».
- [13] Rémy Slama. 2017. *Le mal du dehors, l'influence de l'environnement sur la santé*, Quae éditions, Paris.
- [14] Todd, Valleron. 2005. *Env Health Perspect*. <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.1307771>.
- [15] N. Watts, et al. 2019. *9th Report of the Lancet Countdown on Health and Climate Change*, p. 41.
<http://orca.cf.ac.uk/126885/1/The%202019%20Report%20of%20the%20Lancet%20Countdown%20-%20final%20accepted.pdf>
- [16] J. Rockström, W. Steffen, K. Noone *et al.* A safe operating space for humanity. *Nature* **461**, 472-475 (2009). <https://doi.org/10.1038/461472a>.
- [17] W. Steffen, K. Richardson, J. Rockström, S.E. Cornell, I. Fetzer, E.M. Bennett, R. Biggs, S.R. Carpenter, W. de Vries, C.A. de Wit, C. Folke, D. Gerten, J. Heinke, G.M. Mace, L.M. Persson, V. Ramanathan, B. Reyers, S. Sörlin. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* **347**(6223), 1259855. DOI: 10.1126/science.1259855.
- Voir aussi : <https://coffeebreaksciencefr.wordpress.com/2015/04/01/en-bref-mars-2015-partie-ii-pollution-plastique-et-limites-planetaires/>
- [18] S. Jasechko, D. Perrone. 2021. Global groundwater wells at risk of running dry. *Science* **23**, 418-421. <https://science.sciencemag.org/content/372/6540/418>.
- [19] S.W.D. Turner, M. Hejazi, C. Yonkofski, S.H. Kim, P. Kyle. 2019. Influence of groundwater extraction costs and resource depletion limits on simulated global nonrenewable water withdrawals over the twenty-first century. *Earths Future* **7**, 123-135.
doi:10.1029/2018EF001105. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1029/2018EF001105>