

Les déterminants du coût des catastrophes naturelles : le rôle du changement climatique en France

ÉCONOMIE ET ÉVALUATION



**Collection « Études et documents » du Service de l'Économie, de l'Évaluation et de l'Intégration du
Développement Durable (SEEIDD)
du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD)**

Titre du document : Les déterminants du coût des catastrophes naturelles : le rôle du
changement climatique en France

Directeur de la publication : Xavier **Bonnet**

Contact : Doris **Nicklaus**

Auteur(s) : Cédric **Peinturier***

Date de publication : Mai 2014

* En poste au CGDD lors de la rédaction de ce document

Ce document n'engage que ses auteurs et non les institutions auxquelles ils appartiennent.
L'objet de cette diffusion est de stimuler le débat et d'appeler des commentaires et des critiques.

SOMMAIRE

Résumé	3
I. Introduction	5
I.1. Contexte scientifique	5
I.2. Quelques définitions	6
II. Le travail à partir des séries historiques	6
II.1. La connaissance et la représentation des événements passés	6
II.2. Quelle est la structure de coût des événements ?	7
II.3. Les difficultés du dénombrement des catastrophes	8
II.4. Les données socio-économiques historiques et leurs multiples facteurs d'évolution	9
A) La croissance des enjeux	9
B) La pénétration de l'assurance	9
C) L'évolution de la vulnérabilité	10
D) Les choix ou contraintes d'installation	10
E) La modification des aléas induite par les modifications de l'environnement	11
III. L'aggravation de l'aléa par le changement climatique	11
III.1. Les études basées sur des approches historiques ou top-down	12
III.2. Les études par modélisation du phénomène physique ou bottom-up	14
A) Les mouvements des argiles	14
B) Les risques littoraux	15
C) Les inondations	17
E) Les feux de forêts	20
F) Les effets du vent	21
G) Les aléas gravitaires (mouvements de terrain, avalanches)	22
IV. Quelles évolutions à venir pour les coûts des catastrophes ?	23
IV.1. Quelles sont les conséquences potentielles ?	23
IV.2. Comment améliorer l'évaluation prospective des coûts à venir ?	25
V. Conclusion	27
Annexe – Typologie des risques naturels	28
Bibliographie	31

Résumé

Dans un contexte d'élévation rapide (à l'échelle géologique) de la température, des questionnements récurrents se posent sur l'impact du changement climatique sur les catastrophes naturelles et la nécessité d'anticiper les bouleversements à venir.

L'objectif de l'étude est d'établir un bref état de l'art dans le domaine de l'économie des risques naturels et du changement climatique, afin, à la fois, de donner des clés de lecture des événements passés et de comprendre les points critiques des prochaines décennies.

L'étude s'appuie sur de nombreuses publications scientifiques. Elle constitue une synthèse, non exhaustive, des réflexions et travaux menés au cours des dernières années par les experts économistes et techniques. Il s'agit d'abord d'expliquer, sur la base de ces travaux scientifiques, l'augmentation des coûts des risques naturels qui s'est produite au 21^{ème} siècle, et de discuter de l'influence du changement climatique dans cette augmentation. Il s'agit, ensuite, de déterminer quelles seront les conséquences possibles du changement climatique sur les aléas naturels en France au cours de ce siècle. La dernière partie examine les possibilités de quantifier sur le plan économique ces impacts futurs potentiels.

I. Introduction

I.1. Contexte scientifique

Depuis les premiers calculs Arrhenius¹ à la fin du XIX^{ème} siècle, l'idée d'effet de serre a fait bien du chemin. Initialement, le scientifique suédois avait établi un lien entre la concentration en dioxyde de carbone atmosphérique et la température à la surface de la planète. Selon lui, le doublement de la concentration moyenne en gaz carbonique d'alors aurait eu pour effet une augmentation globale de 4°C. Ce lien entre concentration et température a par la suite été étendu à d'autres gaz, nommés gaz à effet de serre (GES), tels que le méthane, la vapeur d'eau ou encore les chlorofluorocarbones (CFC). La plupart de ces gaz sont d'ailleurs présents à l'état naturel, tandis que d'autres sont artificiels. Perméables au rayonnement solaire (qu'il arrive directement du Soleil ou qu'il soit réfléchi par la planète), ils absorbent le rayonnement énergétique terrestre (qui se situe dans les infra-rouges). L'énergie captée est réémise sous forme de chaleur, contribuant à l'accroissement global de la température sur Terre.

Les positions scientifiques actuellement les plus robustes constatent, à travers les travaux du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), que les activités humaines entraînent une évolution plus rapide que la normale de la température de la planète, en raison de l'augmentation des émissions de ces GES². En moyenne, et toutes choses égales par ailleurs, la hausse des températures atteindrait vraisemblablement, d'ici la fin du XXI^{ème} siècle, de 1,8 à 4°C et même jusqu'à 6,4°C dans le pire des cas.

Le terme de « changement climatique » sera préféré à celui de « réchauffement climatique » pour désigner ce phénomène dans la suite de ce document, en raison des discussions sur la globalité effective du changement pouvant se produire. Par des effets climatiques indirects et complexes, certaines régions du monde pourraient en effet voir leur température moyenne baisser.

Premières visées parmi les causes du changement climatique en raison de leurs émissions en GES, les activités humaines pourraient également faire partie des premières victimes de ce phénomène. En effet, parmi l'ensemble des conséquences annoncées, le GIEC pointe une possible montée des eaux dont l'intensité dépendra des régions du globe. Il évoque également une intensification des événements extrêmes, rendue possible par l'augmentation globale de la quantité d'énergie mise en mouvement dans l'atmosphère terrestre. De manière plus générale, l'humanité doit se préparer à un bouleversement notable de son environnement, lié aux conséquences sur ce dernier d'une montée « rapide » (à l'échelle géologique) de la température.

Parallèlement aux recherches scientifiques en cours sur le climat, certains articles font état de liens supposés entre les événements naturels s'étant produits dans les dernières années et le changement climatique en cours. A chaque catastrophe majeure, la question du changement climatique investit le champ des discussions (ouragan Katrina en 2005, cyclone Nargis en 2008, tempête Xynthia en 2010...). L'indicateur retenu pour mesurer l'intensité de ces événements est généralement, directement ou indirectement, le montant des dommages économiques. Il peut être complété par d'autres indicateurs en particulier lorsque la catastrophe naturelle est de grande ampleur (nombre de victimes de la catastrophe : décès, déplacés, ...). Ce sont donc des indicateurs socio-économiques, et non techniques, qui viennent bâtir l'échelle de l'intensité perçue des catastrophes.

L'objectif de ce document est d'établir un bref état de l'art dans le domaine de l'économie des risques naturels et du changement climatique. La présente étude s'intéresse aux différents aléas naturels tombant dans le périmètre du régime français d'indemnisation des catastrophes naturelles, étendu aux effets du vent ainsi qu'aux incendies de forêts.

Il s'inscrit dans le contexte de la récurrence des questionnements sur l'impact du changement climatique sur les catastrophes naturelles et de la nécessité d'anticiper les bouleversements à venir. Il vise à la fois à donner des clés de lecture des événements passés et à comprendre les points critiques des prochaines décennies.

Ce document s'appuie sur de nombreuses publications scientifiques. Il ne vise néanmoins ni à approfondir la connaissance de l'évolution des aléas naturels, ni à donner des chiffres inédits sur les conséquences du changement climatique. Il constitue une synthèse, non exhaustive, des réflexions et travaux menés au cours des dernières années par les experts économistes et techniques.

¹ « On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground », S.A. Arrhenius, in *Philosophical Magazine and Journal of Science*, avril 1896.

² « Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat », Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat, Genève, Suisse, 2007.

L'objectif de ce document est triple. Il s'agit d'abord d'expliquer, sur la base de travaux scientifiques, l'augmentation des coûts des risques naturels qui s'est produite au cours des dernières décennies, et de discuter de l'influence du changement climatique dans cette augmentation. Il s'agit, ensuite, de déterminer quelles seront les conséquences possibles du changement climatique sur les aléas naturels en France au cours de ce siècle. La dernière partie examine les possibilités de quantifier sur le plan économique ces impacts futurs potentiels.

I.2. Quelques définitions

Un risque identifie une menace latente pour une cible. Ce risque est composé d'un phénomène physique, nommé aléa, généralement caractérisé par son intensité, ou gravité, ainsi que sa probabilité d'occurrence, ou fréquence. Si l'événement redouté vient à se produire, il peut mettre en danger des enjeux, généralement humains. Ceux-ci peuvent à leur tour être caractérisés suivant deux paramètres, leur importance et leur vulnérabilité. Ce dernier terme définit les conséquences de l'événement pour les enjeux. Le risque naît donc du croisement de ces deux facteurs, aléa et enjeu, eux-mêmes caractérisables suivant différents termes. Ainsi, si la fréquence ou la gravité de l'aléa sont nuls, il n'y a pas de risque. Ainsi, en l'absence d'enjeux ou de vulnérabilité, le risque sera considéré comme inexistant même s'il existe un aléa naturel dont la fréquence et l'intensité sont élevées. Cette notion est donc, par construction, centrée sur les sociétés humaines.

Les aléas naturels, sur lesquels ce rapport se concentre exclusivement, recouvrent un grand nombre de phénomènes complètement différents. Il peut s'agir d'inondations (de cours d'eau, par ruissellement, remontée de nappe ou marine...), de mouvements de terrain (effondrements, chutes de rocs, glissements de terrain ou mouvements des argiles, ...) ou encore de tempêtes, de chutes de neige, d'avalanches, de chutes de grêle, d'éruptions volcaniques, de séismes, d'incendies de forêt... La liste des aléas qui menacent les sociétés humaines est longue.

Le risque se décomposant suivant deux dimensions principales, aléa et enjeu, les scientifiques travaillant sur ces deux dimensions seront également différenciés dans la suite de ce document selon deux termes : d'une part les économistes, auxquels incombent les travaux sur la société humaine, et d'autre part les ingénieurs, qui étudient la production des événements naturels sous un angle plus technique. Cette distinction (très formelle) est posée afin de pouvoir situer à tout moment le champ scientifique dans lequel se situe la réflexion.

II. Le travail à partir des séries historiques

II.1. La connaissance et la représentation des événements passés

Les analyses globales des événements passés ainsi que leur mesure se fondent principalement sur le coût des dommages, que ce soit en termes sociaux ou économiques.

Les techniciens du risque mesurent habituellement les événements naturels par un ensemble de critères tels que le débit pour les crues, la hauteur d'eau pour les submersions marines, le nombre de jours au-delà d'une certaine température pour les canicules... Cette liste est d'ailleurs loin d'être exhaustive. En effet, plusieurs critères sont généralement appréciés pour caractériser un même type d'événement.

A ces paramètres mesurables (ou modélisables) sont associées des périodes de retour, correspondant à l'inverse de la fréquence de dépassement. Ainsi, dire d'un événement qu'il est centennal signifie qu'en moyenne, le seuil pour le paramètre technique le caractérisant est atteint ou dépassé en moyenne une fois tous les cent ans. Par exemple, si le débit instantané centennal sur un cours d'eau est de 50 m³ par seconde, cela signifie que ce débit (ou un débit supérieur) n'est observé qu'en moyenne une fois tous les cent ans. Ou, pour parler en fréquence, qu'il y a tous les ans une chance sur cent qu'un événement identique ou plus important (donc l'observation d'un débit équivalent ou supérieur) se produise.

Pour comparer et suivre l'évolution de l'ensemble des catastrophes s'étant produites d'une année sur l'autre, il faut donc d'abord être en mesure de bâtir et quantifier ce qu'est « l'ensemble des événements ». Or, la diversité naturelle des aléas empêche de retenir un seul critère technique pour quantifier l'ensemble des événements produits. De la même manière qu'on ne peut additionner « des choux et des carottes », on ne peut également additionner les hauteurs de submersions avec les durées des canicules. Il faut un instrument commun pour la mesure de l'intensité de l'ensemble des événements produits. Cet instrument pourrait être construit sur la base de la « rareté » de l'ensemble des événements qui se produisent tous les ans, mais de nombreuses difficultés méthodologiques y font obstacle. En l'état actuel des choses, un tel indice n'existe pas, et ne peut donc être mobilisé pour s'y référer.

Comme le point commun à l'ensemble des risques naturels n'est pas appréhendé par l'intensité de l'aléa, il faut se tourner vers l'enjeu et donc vers les indicateurs socio-économiques. Ce raisonnement vient d'autant plus naturellement que l'importance de l'événement naturel est généralement perçue à travers le nombre de morts ou le montant des dommages. Une inondation millénaire frappant une zone inhabitée suscitera moins de réaction qu'un décès dans une inondation décennale. De plus, cet

indicateur est celui que les pouvoirs publics cherchent systématiquement à estimer afin de dimensionner les politiques publiques à mettre en œuvre pour prévenir ou gérer ces risques. Il est donc généralement disponible pour tout événement ayant causé des dommages.

II.2. Quelle est la structure de coût des événements ?

En cas de catastrophe naturelle, les dommages sont traditionnellement répartis en plusieurs catégories, suivant deux critères : directs ou non, tangibles ou non.

Les types de dommages

Les dommages directs : ils correspondent à des dégâts matériels (destruction, endommagement) imputables à l'impact physique de l'inondation (D4E, 2007).

Les dommages indirects : ils sont les conséquences sur les activités ou les échanges des dégâts matériels (perte d'exploitation d'une entreprise suite à la destruction de ses stocks ou de l'outil de production) (D4E, 2007).

Les dommages tangibles : ce sont les dommages à des biens pour lesquels un prix de remplacement existe, c'est-à-dire des biens pour lesquels il existe un marché (mobilier, immobilier, ...).

Les dommages intangibles : ce sont les dommages à des biens pour lesquels il n'existe pas de marché *ad hoc*, et donc difficilement monétarisables en l'état actuel des connaissances, comme par exemple le stress, les modifications du paysage, la pollution, ...

Figure 1 : Exemples de dommages causés par des catastrophes naturelles

Types de dommages	Tangibles	Intangibles
Directs	Destruction de biens	Perte d'une vie humaine, destruction d'un paysage
Indirects	Pertes d'exploitation, coupure de réseau, relogement des habitants	Augmentation de la vulnérabilité des populations touchées après la crise

Source : CGDD

Les montants de dommages cités après les catastrophes naturelles concernent habituellement les dommages tangibles, tandis que les dommages intangibles sont généralement exprimés sous forme d'indicateurs non monétaires (nombre de décès, de personnes déplacées, ...).

Les assurances (telle la garantie catastrophe naturelle en France) ou les fonds d'indemnisation³ ne traitent généralement que du remboursement des dommages tangibles (contrats de dommages aux biens, pouvant également couvrir les pertes d'exploitations). Elles ne prennent donc pas en compte, sauf rare exception, les dommages intangibles.

Toutefois, si nous pouvons faire l'hypothèse que la totalité des dommages indemnisés sont des dommages tangibles, la réciproque n'est pas vraie : l'ensemble des dommages tangibles n'est pas indemnisé, et plusieurs raisons expliquent cette non-réciprocité.

Les polices d'assurance peuvent inclure des franchises (non remboursées), et n'incluent pas systématiquement la couverture des pertes d'exploitations. Les montants indemnisés ne représentent donc pas l'intégralité des pertes directes, et ne couvrent pas toujours les pertes indirectes.

³ La suite du document s'intéressera au seul cas des assurances, qui constituent la plus grande partie des systèmes d'indemnisation des risques naturels.

En outre, les biens détruits ne sont pas systématiquement couverts par un contrat d'assurance : c'est parfois le cas des particuliers ou des entreprises, mais c'est principalement celui des biens de l'Etat et des collectivités territoriales.

Dans ce dernier cas, l'évaluation des dommages directs subis ne peut être faite que dans le cadre de la comptabilité interne de ces propriétaires, via les fonds mobilisés pour la reconstruction.

II.3. Les difficultés du dénombrement des catastrophes

Le nombre de catastrophes naturelles augmente-t-il ou diminue-t-il ? Avant même de répondre à cette question, il faut définir ce qu'on entend précisément par « catastrophes naturelles ».

Cette question, apparemment simple, n'appelle pas une réponse évidente et unique. En effet, la définition d'une « catastrophe naturelle » dépend fondamentalement de celui qui recourt à cette expression.

Dans son sens commun, la « catastrophe naturelle » peut être rapprochée de la notion de « risques majeurs », à savoir un désastre qui dépasse la société : « La définition que je donne du risque majeur, c'est la menace sur l'homme et son environnement direct, sur ses installations, la menace dont la gravité est telle que la société se trouve absolument dépassée par l'immensité du désastre »⁴.

En France, d'un point de vue administratif, la catastrophe naturelle est un état constaté par arrêté interministériel et qui ouvre droit à l'indemnisation par la garantie contre les effets des catastrophes naturelles pour les sinistrés par l'événement cité. Les tempêtes n'étant pas couvertes par le régime CatNat, une tempête d'une intensité catastrophique serait une catastrophe naturelle au sens commun du terme, mais pas au sens administratif.

Ainsi, le nombre d'événements reconnus « catastrophe naturelle » par arrêté interministériel ne couvre pas en France l'ensemble du périmètre des catastrophes naturelles (au sens commun du terme).

Les grands réassureurs mondiaux, comme Munich Re ou Swiss Re, publient régulièrement en fin d'année, des informations sur les « catastrophes naturelles » dans le monde pendant l'année écoulée. Ces catastrophes naturelles sont celles qui répondent à des critères socio-économiques précis.

Swiss Re considère qu'un événement est une catastrophe naturelle dès lors que l'une des conditions suivantes⁵ est remplie :

- son coût économique total en dollars US 2010 excède 86,5 millions, ou 43,3 millions de dommages assurés ;
- le nombre de morts et de disparus est de 20 ou plus ;
- il y a au moins 50 blessés ;
- le nombre de sans-abri suite à la catastrophe dépasse 2 000.

En 2010, le nombre de catastrophes naturelles répondant à ces critères et recensées par Swiss Re était de 304.

Munich Re, de son côté, enregistre 960 catastrophes naturelles pour la même année 2010⁶. Toutefois, si le réassureur allemand explique classer les événements en 6 catégories en fonction de leurs conséquences économiques ou humaines, le seuil d'entrée dans la classification n'est pas expliqué dans ses publications. A titre d'exemple, en 2010, les 55 événements considérés comme de « sévères catastrophes » excédaient chacun 250 millions de dollars US 2010 et/ou plus de 100 décès.

Ainsi, il apparaît de manière assez claire que d'une part le nombre de catastrophes naturelles évalué dans un périmètre donné (temps, espace) dépend de la définition donnée à « catastrophe naturelle », et que d'autre part ces définitions sont généralement des « normes *a priori* » qui peuvent évoluer dans le temps.

Si Swiss Re ou Munich Re modifiaient de façon conséquente leurs seuils, les nombres annuels d'événements enregistrés par chacun d'eux comme catastrophes naturelles tous les ans viendraient à évoluer. Par ailleurs, en France, les tempêtes n'ont été exclues du régime CatNat qu'en 1990. De telles évolutions se traduisent par des ruptures de séries qu'il est important de prendre en compte dès lors qu'on analyse l'évolution des catastrophes naturelles.

Swiss Re actualise ses seuils économiques afin de tenir compte de l'évolution du PIB. Munich Re, à l'inverse, actualise les montants des pertes et non les seuils, ce qui aboutit au même résultat. L'objectif de ces deux types d'actualisation est d'améliorer la comparabilité des données d'une année sur l'autre.

⁴ Attribuée à Haroun Tazieff. Voir <http://www.risquesmajeurs.fr/definition-generale-du-risque-majeur>

⁵ « Catastrophes naturelles et techniques en 2010 : une année marquée par des événements dévastateurs et coûteux », Swiss Re, *Sigma* n°1/2011, Zurich, 2011.

⁶ « Natural Catastrophes 2010 – Analyses, assessments, positions », Munich Re, *Topics Geo*, Munich, 2011.

La comparaison du nombre de catastrophes naturelles dans le temps est donc possible, mais en veillant à tenir compte des différences de périmètres des données disponibles.

Par ailleurs, en sus de l'évolution des prix, il existe de nombreux facteurs sociaux ou économiques qui modifient les conséquences des catastrophes naturelles. Il n'est donc pas certain qu'une augmentation du nombre de catastrophes naturelles dépassant un certain seuil de dommages soit significative d'une augmentation de la fréquence de ces événements naturels.

II.4. Les données socio-économiques historiques et leurs multiples facteurs d'évolution

L'analyse des séries historiques de données sur les dommages est parfois utilisée afin de mettre en lumière une éventuelle intensification des catastrophes naturelles. Il devient alors tentant, en observant l'accroissement historique des dommages des événements naturels, d'en attribuer la responsabilité au changement climatique.

Il ne s'agit pas de revenir ici sur les effets du changement climatique à moyen ou long terme⁷, mais d'expliquer les nombreux facteurs explicatifs possibles d'un accroissement du volume des dommages indemnisés, ou même du nombre de catastrophes recensées par les réassureurs mondiaux. Ainsi, l'évolution du coût total annuel des catastrophes naturelles n'est pas un indicateur pertinent pour répondre à la question « la fréquence et/ou l'intensité des catastrophes naturelles augmentent-elles ? », parce que plusieurs autres facteurs entrent en ligne de compte.

Le fond de l'analyse tient à la nécessaire distinction entre les événements et les sinistres, ces derniers étant causés par le croisement des premiers avec les enjeux humains. Analyser statistiquement les événements naturels à partir de données recensées sur les sinistres nécessite donc d'abord de pouvoir isoler les évolutions propres aux enjeux humains.

Les différents facteurs détaillés ci-dessous s'entendent « toutes choses égales par ailleurs », les effets de synergie étant traités plus loin dans ce document. Dans toute cette partie, les aléas naturels sont considérés à intensité constante.

A) La croissance des enjeux

Le premier facteur expliquant l'aggravation des conséquences des événements naturels est celui de la population exposée. D'après l'Organisation des Nations-Unies, la population mondiale est passée de 2,5 milliards d'individus en 1950 à 4,1 milliards en 1975 puis 6,7 milliards en 2007⁸.

Cette augmentation correspond à une multiplication par deux à trois de la population sur la période, et donc potentiellement à une augmentation du même ordre des conséquences potentielles des catastrophes naturelles. La croissance afférente du nombre d'entreprises (sous hypothèse d'une répartition constante des populations) va également faire augmenter les dommages potentiels.

Ce phénomène d'augmentation structurelle des dommages par la croissance des enjeux (logements, entreprises, équipements publics,...) est à rapprocher de l'hypothèse que développe Zajdenweber⁹ sur les relations entre les dommages causés à une agglomération et sa taille : les dommages augmenteraient de manière non proportionnelle à la taille des cités touchées, du fait de la concentration des enjeux. Ce phénomène, liant croissance urbaine et explosion des dommages, pourrait être une des explications de l'accélération des catastrophes climatiques dont le montant unitaire des dommages atteint plus d'1 milliard de dollars qu'il observe aux Etats-Unis à partir des années 1988-1991.

Indépendamment de la progression de la population ou des activités, l'enrichissement est également un facteur anthropique d'augmentation des montants de dommages indemnisés.

A titre d'exemple, entre 1980 et 2010, le Produit Intérieur Brut (PIB) a connu une multiplication par 2,6 en euros constants à l'échelle mondiale¹⁰. Sur cette seule période, à l'échelle du monde, la richesse produite annuellement (et qui s'accumule) a ainsi été multipliée par presque trois.

Le dynamisme économique d'un pays a donc un double effet : l'augmentation du nombre de chaque type d'enjeu (bâtiments, équipements publics, entreprises, ...) et de la valeur économique de chacun d'eux. Ces deux effets se traduisent par une augmentation des dommages potentiels en cas de catastrophes naturelles.

B) La pénétration de l'assurance

Les dommages économiques tangibles se scindent en deux catégories mutuellement exclusives : les dommages assurés et les dommages non assurés.

⁷ Ceux-ci sont notamment abordés en France dans le rapport interministériel « Evaluation du coût des impacts du changement climatique et de l'adaptation en France », Observatoire National des Effets du Réchauffement Climatique, Paris, 2009.

⁸ « World Population Prospects – The 2006 Revision », United Nations – Department of Economics and Social Affairs, New-York, 2007.

⁹ « Economie des extrêmes – Krachs, catastrophes et inégalités », D. Zajdenweber, 2009.

¹⁰ « World Economic Outlook Database - April 2010 edition », International Monetary Funds, Washington, 2010.

Ainsi, par exemple, alors qu'en France métropolitaine plus de 99 % des ménages sont couverts par un contrat d'assurance dommages aux biens (incluant *de facto* la garantie catastrophes naturelles) pour leur résidence principale, ce taux de couverture des ménages tombe à 52 % dans les départements d'outre-mer¹¹.

A pertes économiques totales constantes, le montant des dommages assurés croît donc avec le taux de couverture, qui varie dans le temps *a priori* de façon découplée du niveau de risque.

Il existe donc un biais dès lors que des séries historiques d'indemnisations de dommages assurés sont utilisées comme indicateur des dommages économiques, en raison du filtre qu'est le taux de couverture assurantiel. Toutefois, ce biais (sous réserve d'y prêter attention) peut être corrigé puisque l'information sur le taux de couverture est généralement assez bien connue.

C) L'évolution de la vulnérabilité

Les évolutions technologiques ou culturelles d'un pays peuvent amener à un accroissement intrinsèque de la vulnérabilité des biens et des personnes, indépendamment des facteurs précédemment énoncés.

La vulnérabilité

La vulnérabilité est la caractéristique qui mesure la sensibilité d'un enjeu donné à un aléa particulier. La vulnérabilité peut donc varier à la fois :

- d'un enjeu à l'autre pour un même aléa : les cultures sont très sensibles aux chutes de grêle, contrairement aux bâtiments ;
- d'un aléa à l'autre pour un même enjeu : les bâtiments sont peu sensibles aux chutes de grêle, mais sont très sensibles aux inondations.

Le remplacement progressif de biens non vulnérables par des biens vulnérables (mais remplissant les mêmes fonctions) peut amener à une augmentation du montant des dommages économiques supérieure à l'augmentation de la valeur assurée.

Le montant des dommages subis pour chaque contrat assuré est le résultat de la somme des valeurs assurées pondérées par leur vulnérabilité face à un niveau d'aléa donné. Donc l'accroissement de la vulnérabilité propre de certains biens, même à valeur constante, augmente mécaniquement le montant des dommages subis.

Prenons un exemple : admettons que le prix d'un produit A (pris comme « invulnérable aux inondations ») soit de 10, celui d'un produit B (pris comme « vulnérable aux inondations ») de 100. En remplaçant le produit A par le produit B, son propriétaire n'a fait monter sa valeur assurée totale que de 90. Toutefois, en cas d'inondation, le différentiel de dommages sera de 100, et non de 90. Le remplacement d'une cheminée par une chaudière au fioul est une illustration de ce phénomène, tout comme celui de volets manuels par des volets électriques ou d'un balai par un aspirateur.

Les politiques de prévention des risques naturels peuvent permettre, toutes choses égales par ailleurs, de réduire la vulnérabilité et donc les dommages en cas de survenue de catastrophes naturelles. Ces politiques s'appliquent à des territoires plus ou moins vastes, allant de l'échelle d'une commune ou d'un ensemble de communes (comme les Plans de Prévention des Risques Naturels en France), à celle du pays (comme les normes de construction). Mais ces politiques, quand elles sont d'ordre urbanistique, peuvent également traiter la question de l'exposition des populations aux risques naturels.

D) Les choix ou contraintes d'installation

D'une manière plus visible et toujours à population et richesse constantes, les choix d'investissement et d'occupation du sol peuvent en effet mener à un accroissement du risque encouru par les constructions. C'est le cas lorsque des pratiques agricoles ou des activités économiques évoluent. C'est également le cas lorsque les particuliers, attirés par des zones aux aménités positives fortes, s'installent préférentiellement dans des zones à risque.

Prenons un exemple. Soit un territoire donné, soumis à une forte pression foncière et donc à une dynamique d'urbanisation conséquente. Ses centres urbains ont historiquement été construits à l'abri des inondations les plus fréquentes, par exemple en altitude. Son exposition aux inondations est donc proche de zéro. Même en cherchant à minimiser l'accroissement de

¹¹ « La faible couverture des ménages des DOM contre les catastrophes naturelles. Analyse de la souscription à l'assurance habitation », L. Calvet and C. Grislain-Létrémy, Commissariat Général au Développement Durable, Paris, 2010.

l'exposition aux risques, l'urbanisation de nouvelles zones se traduit par une augmentation de l'exposition de la communauté. Chaque maison supplémentaire se rapprochant des cours d'eau implique pour la collectivité un coût marginal supérieur à la précédente en cas d'inondation. Sans précaution particulière, le montant potentiel des dommages va donc croître proportionnellement plus vite que la population.

Ce phénomène d'aggravation des dommages potentiels par l'exposition des populations est bien connu depuis plus de deux siècles, puisqu'il a été à l'origine d'une controverse entre les philosophes Voltaire et Rousseau. En effet, suite au tremblement de terre de Lisbonne du 1^{er} novembre 1755 et à ses dizaines de milliers de victimes, Voltaire écrit que « le mal est sur la terre »¹², ce à quoi Rousseau lui répond que si « la nature (sic) n'avait point rassemblé là vingt mille maisons de six à sept étages, et que si les habitants de cette grande ville eussent été dispersés plus également, et plus légèrement logés, le dégât eût été beaucoup moindre, et peut-être nul »¹³.

E) La modification des aléas induite par les modifications de l'environnement

Les comportements humains peuvent également entraîner des modifications dans les régimes mêmes de production des événements naturels. C'est notamment le cas lorsqu'ils créent des conditions aggravant l'intensité des événements naturels. C'est le cas du changement climatique. C'est également le cas, mais de façon plus localisée, de certaines politiques publiques.

Ainsi, la création de la politique française de restauration des terrains de montagne répondait en 1882 à la nécessité de maîtriser l'érosion en montagne, qui aggravait les mouvements de terrain en montagne et les crues en plaine comme en montagne¹⁴. Cette érosion accrue était causée par une destruction du couvert végétal afin de permettre l'extension de la culture des céréales et de l'élevage des bovins et ovins, en réponse à l'augmentation de la population française¹⁵. Les choix d'occupation du sol ont donc à la fois des conséquences sur l'évolution des enjeux, mais également sur celle des aléas.

Ce phénomène ne se limite bien évidemment pas à la France. C'est le cas par exemple du Vietnam où la déforestation dans le bassin versant du Mékong a conduit à une aggravation reconnue de la fréquence des inondations¹⁶.

Un second exemple d'aggravation anthropique du régime des aléas est celui du phénomène du ruissellement urbain, défini comme « la submersion de zones normalement hors d'eau et l'écoulement des eaux par des voies inhabituelles, suite à l'engorgement du système d'évacuation des eaux pluviales lors de précipitations intenses »¹⁷. Plus les surfaces imperméabilisées s'étendent, et plus les points bas des zones urbaines voient grossir le débit d'eaux pluviales à évacuer en cas de pluies importantes. Ceci peut alors être à l'origine de phénomènes de saturation des systèmes urbains, provoquant l'écoulement des eaux de ruissellement dans les rues.

Ce phénomène est donc fortement aggravé à la fois par l'imperméabilisation des sols afférente à l'urbanisation de la France, mais également par la reconversion de surfaces qui jouaient un rôle positif dans la régulation de ces événements¹⁸.

III. L'aggravation de l'aléa par le changement climatique

Le GIEC estimait dans son dernier rapport qu'une augmentation des sécheresses, vagues de chaleurs et inondations était à terme hautement probable¹⁹. Cette partie vise à décrire quels sont les aléas dont la fréquence et/ou l'intensité pourraient augmenter.

L'ensemble des faits et résultats énoncés dans la suite de cette partie ne sont que de courtes synthèses des travaux originaux. Pour de plus amples informations sur l'une ou l'autre de ces publications, systématiquement citées en note de bas de page, les lecteurs sont invités à se référer aux documents complets.

Il est à noter que les cas des Départements et Collectivités d'Outre-mer ne sont que rarement étudiés dans la littérature existante. Cette absence ne doit toutefois pas faire oublier que ces territoires seront également probablement touchés par le changement climatique, mais dans des proportions qu'on ignore encore largement à l'heure actuelle.

¹² « Poème sur le désastre de Lisbonne », Voltaire, 1756.

¹³ « Lettre à Voltaire sur la Providence », Rousseau, 1756.

¹⁴ « De la politique française de restauration des terrains en montagne à la prévention des risques naturels », G. Brugnot, Y. Cassayre, XII^{ème} Congrès forestier mondial, Québec City, Canada, 2003.

¹⁵ « Histoire de la restauration des terrains en montagne au XIX^{ème} siècle », C. Lilin, Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXII, n°2, 139-145, 1986.

¹⁶ « Water Management in the Mekong Delta: Changes, Conflicts and Opportunities », White I., International Hydrological Programme, Paris, 2002, cité dans « In search of shelter: mapping the effects of climate change on human migration and displacement », CARE International, 2008.

¹⁷ « Le ruissellement urbain et les inondations soudaines – Connaissance, prévention, prévision et alerte », Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable, MEEDDAT, février 2009, p.16.

¹⁸ Ibid, p.18.

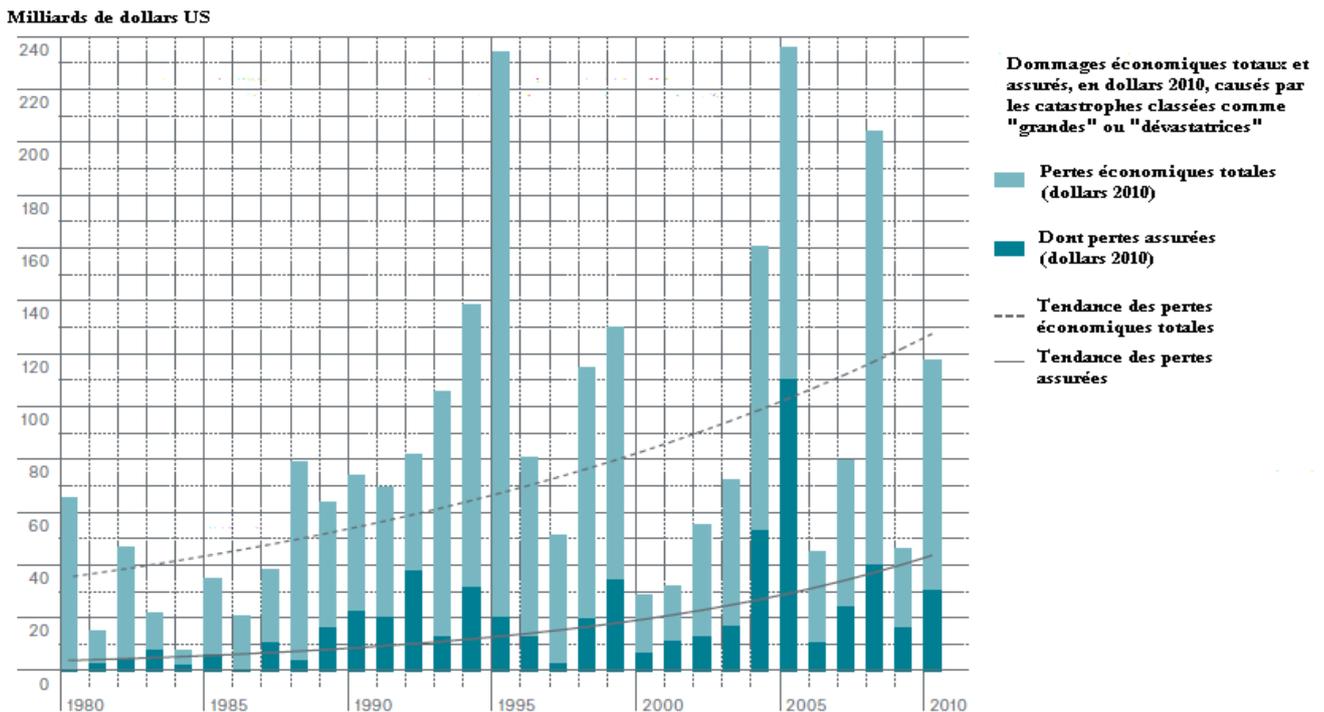
¹⁹ « Climate Change 2007: synthesis report – Summary for Policymakers », Intergovernmental Panel on Climate Change, Valencia, 2007.

III.1. Les études basées sur des approches historiques ou top-down

Une partie des chercheurs qui se sont penchés sur la question de l'aggravation de l'aléa par le changement climatique a opté pour une démarche historique. Le changement climatique étant supposé être un phénomène dont l'influence va *crescendo* au fil du temps, on fait donc l'hypothèse suivante : la mise en évidence d'une aggravation non expliquée des catastrophes naturelles au fil du temps est attribuable au changement climatique.

Une première approche, la plus simple, consisterait donc à regarder les données des réassureurs mondiaux et à tenter de voir si une tendance se dégage sur le long terme.

Figure 1 : Pertes totales et pertes assurées à l'échelle mondiale de 1980 à 2010



Source : Munich Re (traduction par l'auteur)

Ces données sont corrigées de l'inflation mais pas d'autres évolutions socio-économiques telles que l'évolution de la population ou de l'enrichissement (c'est-à-dire l'évolution du PIB)²⁰. De fait, la croissance observée du montant des catastrophes pourrait donc s'expliquer autrement que par l'hypothèse d'une aggravation des phénomènes naturels liés au changement climatique. Le recensement du nombre de « catastrophes » étant en réalité celui du nombre de « catastrophes dépassant un certain seuil de dommages »²¹, l'accroissement du nombre de catastrophes observées est également biaisé par les évolutions socio-économiques.

Plusieurs études économétriques ont été réalisées pour tenter d'intégrer des facteurs tels que la population et le PIB. Ainsi, dès 1998, des travaux sur le coût des ouragans aux Etats-Unis²² mettent en évidence l'importance jouée par l'augmentation de la population sur les côtes dans l'explication du montant des dommages. En ajustant les dommages constatés une année donnée en fonction de l'inflation, de la richesse par personne et de la population, il apparaît que les dommages causés aux Etats-Unis par les ouragans des années 90 sont comparables à ceux des années 40 à 60, après une baisse dans les années 60 à 70. Sept ans avant l'ouragan Katrina (qui coûta plus de 60 milliards de dollars), les auteurs concluent même que les Etats-Unis traversent une période plutôt favorable et que « ce n'est qu'une affaire de temps avant que le pays ne vive un ouragan de plus de 50 milliards de dollars » (« *it is only a matter of time before the nation experiences a \$50 billion or greater storm* »).

²⁰ Dans « Natural Catastrophes 2010 – Analyses, assessments, positions », Munich Re écrit précisément que les influences de la croissance démographique ou de celle du PIB (« The influence of population development and real increase in value ») ont été ignorées lors de l'actualisation des pertes.

²¹ Munich Re actualise les montants des dommages mais pas directement le seuil de dommages.

²² « Normalized hurricane damages in the United States: 1925-1995 », R. A. Pielke and C. W. Landsea, in *Weather and Forecasting*, n°13, 1998.

En 2008, Miller, Muir-Wood et Boissonnade²³ mènent des travaux à l'échelle mondiale. Les données dont ils disposent indiquent une croissance annuelle de 8 % des dommages causés dans le monde par des événements naturels. En compilant ces données par pays ou région géographique (regroupement de plusieurs pays), ils établissent une base de données normalisées, sur la base de l'inflation, du PIB par habitant et de la population par pays ou zone géographique, le tout ramené à l'année 2005. Toutefois, l'échelle choisie pour l'analyse (le pays ou la région géographique) moins fine que celle de Pielke (en 1995), ne permet pas de prendre en compte les disparités intra-pays.

Sur la période 1950-2005, la recherche de tendances de fond donne des résultats qui ne sont statistiquement représentatifs qu'à de petites échelles (infra-mondiales), telles que le Canada, l'Europe, la Corée... mais avec des tendances variables selon les régions. Sur la période 1970-2005, les dommages dus aux catastrophes naturelles tendent à croître dans certains pays et au niveau mondial (de 2 % par an) (significative à 1 %). Toutefois, le caractère significatif de cette tendance disparaît si on retire les ouragans américains de 2004-2005 ou les inondations en Chine. La série des dommages à l'échelle mondiale est donc « tirée vers le haut » par les dommages causés aux Etats-Unis, et notamment par les ouragans.

Dans le rapport Stern²⁴, publié en 2007, l'auteur reprend un des résultats²⁵ de Miller, Muir-Wood et Boissonnade. Il utilise en effet l'accroissement annuel de 2 % calculé sur la période 1970-2005 et le prolonge²⁶ dans le futur pour annoncer que les coûts des catastrophes naturels « atteindraient 0,5 à 1 % du PIB mondial d'ici le milieu du siècle ».

Suite à la publication du rapport Stern, Pielke produit, en réponse un article la même année²⁷. Il y reproche à Stern de négliger les conclusions de Miller, Muir-Wood et Boissonnade, qui alertent sur la sensibilité de leurs résultats aux ouragans aux Etats-Unis. Par ailleurs, il rappelle que les conclusions unanimement signées des participants de l'atelier de 2006 incluaient la reconnaissance d'une impossibilité scientifique en 2006 à affirmer de manière certaine la responsabilité du changement climatique dans l'évolution des coûts des catastrophes naturelles, bien que ceux-ci aient augmenté dans des proportions très importantes depuis les années 80. En conclusion, Pielke reproche donc à Stern d'avoir non seulement prolongé dans le futur un résultat dont les auteurs eux-mêmes reconnaissent qu'il comportait des faiblesses, mais de l'avoir même amplifié sans produire de sources pour justifier cette amplification.

En 2009, c'est Barredo, un chercheur du Joint Research Centre (le centre de recherche de la Commission Européenne) qui publie un article sur l'étude des séries de dommages normalisés en Europe de 1970 à 2006²⁸. Il s'intéresse aux dommages causés par des inondations dans 31 pays européens : les 27 pays de l'Union Européenne, auxquels s'ajoutent la Croatie, la Norvège, la Suisse et l'Ancienne République Yougoslave de Macédoine. La normalisation est à nouveau effectuée sur la base de l'évolution de l'inflation, de la population et du PIB par habitant par rapport à l'année 2006. Toutefois, cette dernière donnée est également corrigée en utilisant la Parité de Pouvoir d'Achat, afin de corriger les différences de prix entre les pays européens. Les conclusions de ce travail sont qu'il est impossible d'avancer une quelconque tendance de l'accroissement des dommages observés une fois les données normalisées, bien qu'une telle tendance soit visible avant la normalisation.

²³ « An exploration of trends in normalized weather-related catastrophe losses », S. Miller, R. Muir-Wood and A. Boissonnade, *Climate Extremes and Society*, Cambridge University Press, Cambridge, 2008.

²⁴ « The Economics of Climate Change: The Stern Review », N. Stern, Cambridge University Press, Cambridge, 2007.

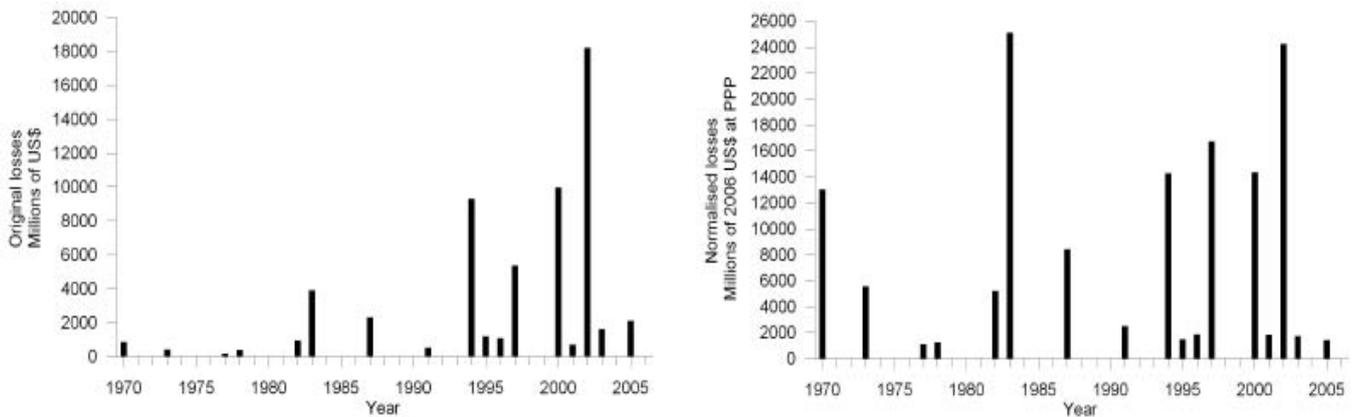
²⁵ Ce résultat avait été présenté par de Miller, Muir-Wood et Boissonnade lors d'un atelier organisé par Pielke en Allemagne en 2006, ce qui explique qu'il soit utilisé en 2007 par Stern alors que l'article ne paraît qu'en 2008.

²⁶ En l'accélération : en effet, il considère que cet accroissement monte d'un point tous les dix ans (3 % par en 2010, 4 % en 2025...), sans toutefois justifier la raison de ce choix méthodologique.

²⁷ « Mistreatment of the economic impacts of extreme events in the Stern Review Report on the Economics of Climate Change », R. A. Pielke Jr., *Global Environmental Change*, n°17, 302-310, 2007.

²⁸ « Normalised flood losses in Europe: 1970-2006 », J.I. Barredo, in *Natural Hazards and Earth System Sciences*, n°9, 2009.

Figure 2 : Série des dommages causés par les inondations, avant et après normalisation, en millions de dollars US



Source : Barredo, 2009

En conclusion, la plupart des études menées ces dernières années sur des séries de données normalisées ont conclu soit à une absence de signal du changement climatique (pas de tendance sur la série), soit à un signal significatif mais sensible à l'existence de quelques catastrophes. Il n'est donc pas possible à l'heure actuelle d'affirmer que le changement climatique a, dans les dernières décennies, joué un rôle majeur dans la réalisation et les conséquences des catastrophes naturelles.

Cette conclusion est renforcée par les incertitudes qui pèsent sur les séries historiques de données. Ainsi, du fait de l'amélioration constante des moyens d'observation et de communication, les événements les plus récents sont les mieux documentés. Il est donc possible que des événements anciens soient absents des séries de données, notamment dans des pays qui ne disposaient pas à l'époque d'une pénétration importante de l'assurance.

Les tendances sur les séries de données non-normalisées semblent donc être principalement causées par les évolutions socio-culturelles des sociétés humaines dans les dernières décennies, et notamment l'accroissement démographique et l'augmentation de la richesse de la population.

L'étude de l'impact du changement climatique sur les coûts des catastrophes naturelles à partir d'études macroéconomiques sur les séries passées se heurte donc à d'importantes difficultés méthodologiques. Dans ce contexte, des études prospectives microéconomiques sur les conséquences possibles du changement climatique dans le futur donnent des résultats intéressants.

III.2. Les études par modélisation du phénomène physique ou bottom-up

Alors que les méthodes top down partent des séries de dommages observées à l'échelle macro, les méthodes bottom-up partent de la production même des dommages, en modélisant les conséquences économiques du phénomène physique, et en faisant ensuite évoluer le phénomène physique dans le sens de l'impact potentiel du changement climatique.

A la différence des modèles précédents, ces études nécessitent des équipes pluridisciplinaires réunissant des spécialistes de nombreuses disciplines scientifiques, qu'il s'agisse des sciences de la nature ou des sciences humaines et sociales. Les études sont généralement centrées sur un seul aléa, à la différence des études réalisées sur des séries historiques.

Les sections qui suivent synthétisent les résultats de nombreuses études²⁹. Pour plus de précisions, le lecteur est invité à poursuivre sa lecture dans les articles originaux. Les aléas d'origine uniquement géologique (volcanisme, sismique) n'ont pas été traités alors même qu'ils sont concernés par les évolutions listées au chapitre II.

A) Les mouvements des argiles

Le retrait-gonflement des argiles (RGA) est un risque extrêmement dommageable pour les structures bâties, mais qui ne met normalement pas en danger de vies humaines. Son action repose sur la capacité des argiles à stocker un important volume d'eau (jusqu'à une quinzaine de fois leur volume sec), et de voir leur propre volume varier en fonction de leur saturation en

²⁹ Ce travail ne vise pas l'exhaustivité.

eau. De ce fait, entre deux périodes prolongées d'humidité inégales, le volume d'un bloc argileux va se modifier dans des proportions très importantes.

Ces mouvements de sol, bien que lents, sont extrêmement dommageables aux bâtiments en raison de l'importance des forces mises en jeu et de la sape qui se produit. En effet, le bâtiment fait écran à la sécheresse, limitant la rétraction du sol par rapport aux alentours. Cela provoque alors des tassements différentiels entre les différentes parties du sol (suivant la couverture), ce qui risque de déséquilibrer la maison et de provoquer des distorsions dans la structure, et donc des fissures. Sur la période 1995-2003, les RGA ont coûté en France métropolitaine 3 533 millions d'euros 2006 (M€2006) en indemnités et franchises dans le cadre du régime CatNat³⁰.

Toutefois, des mesures assez simples permettent de limiter les dommages pour les bâtiments construits en zone argileuse : des fondations plus profondes que la couche argileuse, des chaînages conséquents, l'absence de grands végétaux à proximité (qui participent à l'assèchement en période de stress hydrique), ... Dans la grande majorité des cas, ces prescriptions correspondent au strict respect des bonnes pratiques de la construction.

En 2009, un groupe de travail prospectif sur les RGA et le changement climatique publie un rapport³¹ dans le cadre des travaux inter-ministériels sur l'étude des conséquences en France du changement climatique. En distinguant deux cas de figures pour la situation estivale d'une année donnée (normale ou exceptionnelle, ce dernier cas correspondant à une année type 2003) et en faisant augmenter progressivement la probabilité de survenue de canicules type 2003 (sur la base d'une modélisation Arpège³²), les coûts moyens annuels imputables aux RGA sont multipliés de 3 à 6, à parc constant³³. Cette même étude détaille également les conséquences d'un accroissement annuel de 0,925 % du parc national sur vingt ans, qui s'ajouterait aux effets du changement climatique. Ceci amène à une croissance de 17 % à 27 % des dommages totaux sur vingt ans : l'urbanisation joue donc (comme vu dans les parties précédentes) un rôle très important dans l'évolution du coût des risques naturels.

En 2009 une seconde étude (d'une équipe indépendante de la première) à l'échelle de la France paraît sur la modélisation des dommages passés causés par les RGA³⁴. Celle-ci élabore un modèle liant la situation météorologique aux dommages causés à l'échelle nationale, qui permet de modéliser correctement les dommages observés sur la période 1989-2002. L'étude met en évidence un lien entre température et dommages observés, à travers la variation de l'humidité du sol, ainsi qu'un possible³⁵ doublement des dommages annuels moyens entre les périodes 1961-1990 et 1989-2002.

En conclusion, les RGA représentent à la fois une part importante des coûts des risques naturels indemnisés tous les ans en France, mais également un aléa à surveiller dans le cadre du changement climatique. Bien qu'il ne soit pas encore modélisable à l'heure actuelle, le lien de causalité existant entre la survenue de ces sinistres et les conditions météorologiques permet d'anticiper une probable augmentation de leur nombre dans les décennies à venir.

B) Les risques littoraux

Les risques littoraux sont un terme générique regroupant l'ensemble des aléas pouvant affecter le bord de mer. On peut globalement distinguer deux risques spécifiques au littoral : la submersion marine (version salée des inondations) et l'érosion côtière, qui caractérise le recul du trait de côte par l'action mécanique de la mer sur ce dernier. Ce risque est devenu très médiatique et symbolique du réchauffement climatique en raison de l'effet potentiel sur le niveau des eaux océaniques, qui entraînera à terme la submersion définitive d'une partie des terres (on s'attend à une montée des eaux de l'ordre du mètre³⁶).

Toutes choses égales par ailleurs, la montée des eaux causée par le réchauffement climatique (dilatation des eaux, fonte des glaciers terrestres) devrait provoquer une immersion permanente de terres jusque-là émergées et une aggravation des submersions temporaires causées par les tempêtes marines. Une augmentation d'un mètre du niveau marin pourrait ainsi déplacer d'un mètre l'altitude maximale atteinte par les submersions temporaires. Ceci a notamment conduit le Ministère du

³⁰ « Le régime d'assurance des catastrophes naturelles en France métropolitaine entre 1995 et 2006 », C. Grislain-Létrémy et C. Peinturier, *Études et Documents n°22*, CGDD, Paris, 2010.

³¹ « Estimation des coûts du changement climatique liés à l'aléa retrait-gonflement – Rapport final du Groupe de Travail Risques Naturels, Assurances et Changement Climatique », E. Plat, M. Vincent, N. Lenôtre, C. Peinturier, B. Poupat, P. Dorelon, P. Chassagneux, J.-B. Kazmierczak, J.-L. Salagnac, S. Gerin, R. Nussbaum et J. Chemitte, BRGM/RP-56771-FR, Paris, 2009.

³² Arpège est un modèle de prévision utilisé par Météo-France.

³³ La quasi-totalité des dommages concernent le bâti individuel pavillonnaire.

³⁴ « Simulating past droughts and associated building damages in France », T. Corti, V. Muccione, P. Köllner-Heck, D. Bresch, and S. I. Seneviratne, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2009.

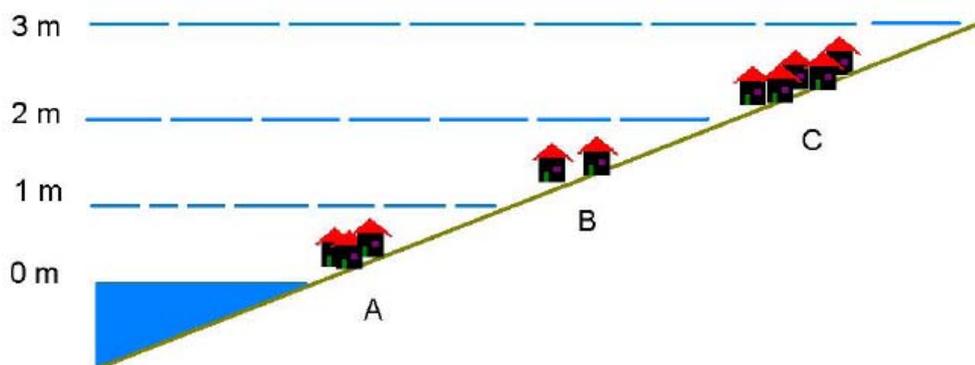
³⁵ Il n'existe pas de données quantitatives sur les dommages de RGA en France avant 1989. Cette comparaison est donc faite sur la base des résultats simulés par le modèle, sous l'hypothèse que ce dernier soit donc correctement paramétré.

³⁶ « L'adaptation au changement climatique en France », M. Galliot, Observatoire National des Effets du Réchauffement Climatique, *Synthèse n°6*, Paris, 2011.

Développement Durable à demander à ses services de majorer d'un mètre le niveau des eaux dans les études actuellement menées préalablement à la réalisation des Plans de Prévention des Risques Littoraux³⁷.

Le groupe de travail interministériel de 2009 s'est également intéressé à cette question pour la France³⁸. Il a effectué notamment une étude de cas sur le littoral de la région Languedoc-Roussillon, sur la base d'une élévation du niveau marin d'un mètre et de régimes inchangés pour les tempêtes, les vagues et les surcotes. Ce travail a été fait sur la base d'une approche statique, après un découpage de la côte suivant les lignes de même altitude (0 - 1 mètre, 1 - 2 mètres, ...). A horizon 2100, la bande 0-1 mètre a été considérée comme immergée définitivement, la bande 1 - 2 mètres comme inondable suivant la distribution actuelle de probabilité de la bande 0 - 1 mètre, la bande 2 - 3 mètres comme avec la distribution actuelle de la bande 1 - 2 mètres et ainsi de suite. La figure suivante illustre les hypothèses mises en place.

Figure 3 : Représentation du décalage de l'aléa sur le littoral -



source : Le Cozannet et al., 2009

Note de lecture : L'aléa submersion temporaire est supposé affecter actuellement la zone A (avec une occurrence décennale) et la zone B (avec une occurrence centennale). Avec le changement climatique, on suppose une translation de ces aléas de 1 m. Ainsi, la zone A est supposée submergée de manière permanente, et les submersions temporaires vont désormais affecter la zone B avec une occurrence décennale et la zone C avec une occurrence centennale.

Cette méthode présente comme principal inconvénient de ne pas prendre en compte la dynamique des submersions, et notamment le rôle joué par les obstacles au passage de l'eau, qu'ils soient naturels ou artificiels. Cela demanderait de modéliser les écoulements, ce qui nécessiterait des travaux de modélisation trop importants pour espérer pouvoir être menés à l'heure actuelle à l'échelle du littoral français.

Sur la base de l'ensemble des hypothèses formulées, le rapport conclut à la mise en danger de destruction totale d'ici 2100 d'environ 140 000 logements et 10 000 établissements, représentant respectivement 80 000 personnes³⁹ et 26 000 salariés. Par ailleurs, la frange la plus urbanisée étant la plus proche du bord de mer (et donc en moyenne la plus basse), le nombre de biens exposés à des submersions temporaires pourrait, en contrepartie, décroître. Toutefois, si on fait l'hypothèse que les riverains ayant perdu leur logement (du fait de la submersion permanente) se relogent au plus près de la côte, ce résultat est battu en brèche et le nombre de biens à risque augmenterait alors entre 2010 et 2100.

La situation est donc contrastée : les risques d'érosion et submersion permanentes sont à terme les plus coûteux sur le plan strictement financier pour la collectivité, mais ne présentent *a priori* que peu de danger pour la vie humaine. Les submersions temporaires, dont on attend l'aggravation, impliquent des risques importants pour la vie humaine, comme la tempête Xynthia l'a tragiquement rappelé au mois de février 2010.

³⁷ « Circulaire du 7 avril 2010 relative aux mesures à prendre suite à la tempête Xynthia du 28 février 2010 », Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer, Paris, 2010.

³⁸ « Impacts du Changement Climatique, Adaptation et coûts associés en France pour les Risques Côtiers - Rapport du Groupe de Travail Risques Naturels, Assurances et Adaptation au Changement Climatique », G. Le Cozannet, N. Lenôtre, P. Nacass, S. Colas, C. Perherin, C. Vanroye, C. Peinturier, C. Hajji, B. Poupat, S. de Smedt, C. Azzam, J. Chemitte, F. Pons, BRGM RP 57141, Paris, 2009.

³⁹ Le nombre de logements est bien plus grand que le nombre d'occupants en raison de la grande proportion de résidences secondaires sur le littoral.

Toutefois, ces deux questions (submersions temporaires et immersion permanente) ne sont pas si distinctes que ça dans la modélisation de leur dynamique : en effet, dans la pratique, les submersions permanentes ou les disparitions de terre du fait de l'érosion se produisent généralement, une fois les conditions réunies, à l'occasion de tempêtes.

En décembre 2009, soit quelques mois après la publication des travaux de l'ONERC, le Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales (CETMEF) publie une étude faisant le point sur la vulnérabilité du territoire français métropolitain aux risques littoraux⁴⁰. Ce travail s'intéresse aux actuels niveaux marins centennaux et à l'altitude qu'ils atteindraient en cas de rehaussement d'un mètre du niveau de la mer. Indépendamment de la situation actuelle, les conclusions du groupe de travail mettent en exergue la forte vulnérabilité au changement climatique des régions Languedoc-Roussillon et Aquitaine.

Par ailleurs, et toujours selon cette étude, si au niveau national la surface actuellement sous les niveaux centennaux est d'environ 590 000 hectares, celle située sous le niveau centennal plus 1 mètre est d'environ 735 500 hectares. Ceci représente près de 250 000 hectares de terrain qui connaîtraient une aggravation conséquente du risque auquel ils sont exposés (qu'il s'agisse d'une submersion permanente, ou d'une augmentation de la fréquence des submersions).

C) Les inondations

Les inondations représentent vraisemblablement le premier aléa en France en termes de dommages économiques annuels : ainsi, de 1995 à 2006, les dommages dans le cadre du régime CatNat (indemnisations et franchises) se sont élevés à plus de 4 683 M€₂₀₀₆⁴¹. Par ailleurs, et à la différence des RGA, c'est un péril qui comporte également des dangers pour la vie humaine. De ce fait, l'évolution du régime des inondations en France est une question importante pour la politique nationale de prévention des risques.

Concrètement, la question à se poser pour savoir si, toutes choses égales par ailleurs, les dommages évolueront à terme est « est-ce que les fréquences de dépassement des débits/hauteurs des cours d'eau vont augmenter ? ». A l'heure actuelle, il est difficile de se prononcer sur la moindre tendance à long terme de l'évolution du régime de ces événements, et ce malgré plusieurs travaux visant à faire le point sur cette question.

Les méthodes pour répondre à cette problématique peuvent se répartir en deux catégories : soit l'analyse des tendances du passé, soit la modélisation des effets futurs potentiels.

C.1.) Première approche : l'analyse des tendances historiques

Une thèse publiée en 2006⁴² fait le point sur l'hypothèse de stationnarité des débits des cours d'eau en France dans les dernières décennies. L'objectif de ces travaux était de reconstituer des séries longues de débits de cours d'eau, puis d'observer d'éventuels changements dans les séries ainsi construites. Une partie des modifications observées correspond à des artefacts sans lien avec le changement climatique. Le reste des modifications n'apparaît pas comme significatif.

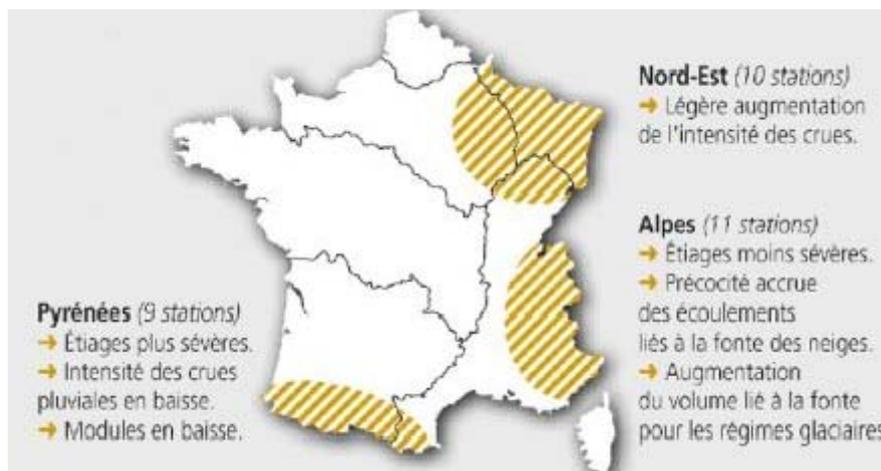
En définitive, ces travaux ne permettent pas de mettre en évidence une quelconque tendance à l'échelle nationale. Néanmoins, au niveau local, trois zones géographiques paraissent avoir subi l'influence du changement climatique dans les dernières décennies : le Nord-Est de la France, le massif des Alpes et celui des Pyrénées. La figure ci-après récapitule ces conclusions.

⁴⁰ « Vulnérabilité du territoire National aux risques littoraux. France métropolitaine », CETMEF, CETE Ouest et CETE Méditerranée, Compiègne, 2009.

⁴¹ C. Grislain-Letrémy et C. Peinturier, 2010.

⁴² « Détection et Prise en Compte d'Eventuels Impacts du Changement Climatique sur les Extrêmes Hydrologiques en France », B. Renard, Grenoble, 2006.

Figure 4 : Résultats des tests de détection d'évolution sur des séries longues hydrométriques en France métropolitaine



Source : Renard, 2006

C.2) Seconde approche : la modélisation des débits futurs

Afin de réduire l'incertitude sur les résultats et d'augmenter leur pertinence, les travaux de modélisation nécessitent généralement de croiser un grand nombre de scénarios de changement climatique avec des modèles hydrologiques différents. Ceci permet d'obtenir un grand nombre de résultats, et donc de s'affranchir des particularités de certains scénarios de forçage climatique ou de certains modèles hydrologiques pour se concentrer sur les tendances générales.

Comme ces modélisations de l'impact du changement climatique nécessitent à chaque fois la mise en place d'une chaîne de modèles allant de l'échelle climatique à celle hydrologique, ces travaux ne sont généralement effectués que bassin par bassin, et non à l'échelle de la France entière. Les travaux qui vont être présentés dans la suite de cette section concernent les bassins du Rhône, de la Seine, de la Loire et de la Meuse.

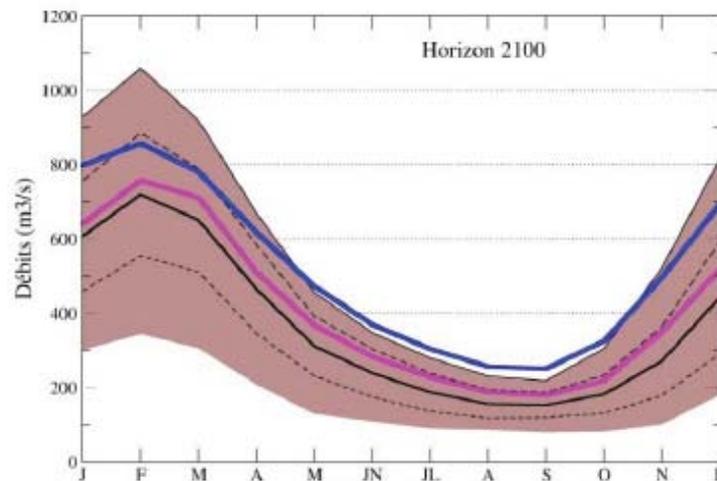
Sur le bassin versant du Rhône de tels travaux ont été engagés dès 2000, par un groupement composé d'une douzaine d'équipes dans le cadre du projet Gestion des Impacts du Changement Climatique, piloté par le Ministère en charge du Développement Durable.

Les résultats⁴³, qui se basent sur 5 modèles hydrologiques et 6 scénarios atmosphériques de 1999, sont assez contrastés. Ils laissent apparaître, sur le bassin versant du Rhône incluant la Saône et l'Ardèche, une diminution du niveau des eaux moyennes et de celui des étiages. Concernant les hautes eaux, la tendance serait à l'augmentation, mais les résultats sont différents suivant le scénario atmosphérique retenu (l'un donne des résultats à la hausse ; l'autre à la baisse, mais de manière moins marquée). Ces travaux ont surtout permis de mettre en exergue que les résultats étaient plus sensibles aux modèles atmosphériques qu'aux modèles hydrologiques.

Des travaux équivalents ont également été menés et publiés plus récemment à propos de la Seine⁴⁴. Sur la base de 12 scénarios climatiques croisés avec 5 modèles hydrologiques, les résultats mettent en avant une baisse des débits moyens annuels et également du niveau des nappes d'eaux souterraines (le second résultat étant une des causes du premier).

⁴³ « Etude des impacts potentiels du changement climatique sur le bassin versant du Rhône en vue de leur gestion - deuxième phase », E. Leblois, Lyon, 2005.

⁴⁴ « Evolution potentielle du régime des crues de la Seine sous changement climatique », A. Ducharne, E. Sauquet, F. Habets, M. Déqué, S. Gascoïn, A. Hachour, E. Martin, L. Oudin, C. Pagé, L. Terray, D. Thiéry, P. Viennot, in *La Houille Blanche*, n°1-2011, Paris, 2011.

Figure 5 : Débits simulés de la Seine, à Poses

Source : Ducharne, 2011

Note de lecture : En bleu, le débit moyen simulé en temps présent. En rose, le débit moyen simulé vers 2050, et en noir le débit moyen simulé à l'horizon 2100. En brun, l'enveloppe des résultats obtenus à l'horizon 2100.

L'analyse des crues donne des résultats beaucoup moins nets. Pour les crues décennales, l'indicateur retenu est le débit maximum journalier atteint ou dépassé en moyenne tous les dix ans. L'indicateur évolue de façon variable (+10 % à -10 %) à l'horizon de la fin du siècle (période 2081-2100) par rapport à la période actuelle (1980-2000). Les dispersions et incertitudes associées sont également très importantes, à tel point qu'elles dépassent l'incertitude sur la connaissance actuelle de ce débit en temps présent. Il est donc très difficile de tirer la moindre conclusion au sujet des crues futures.

Pour les crues centennales, deux indicateurs sont étudiés : le débit maximum journalier atteint ou dépassé en moyenne tous les cent ans, tiré du débit moyen sur 24 jours atteint ou dépassé en moyenne tous les cent ans. A l'exception des résultats donnés par le croisement entre les scénarios hydrologiques et un scénario climatique particulier (qui donnent une hausse importante des indicateurs retenus, causée par un gain très important de pluviométrie modélisée), les résultats sont très mitigés et ne permettent pas de conclure à une évolution marquée de la crue centennale d'ici la fin du siècle.

Sur la Loire, les conclusions existantes⁴⁵ recourent celles faites sur la Seine. 21 scénarios climatiques ont été mobilisés et ont servi d'intrants dans les 2 modèles hydrologiques utilisés. Les résultats sont une baisse générale conséquente des débits moyens annuels, et une baisse encore plus marquée des étiages. Concernant les crues (la décennale, avec une étude centrée sur le débit maximum journalier atteint ou dépassé en moyenne tous les dix ans), les résultats sont similaires à ceux de la Seine : une variation maximale de l'ordre de +10 % à -10 %, avec une dispersion importante des résultats donnés par les modèles.

Enfin, des travaux⁴⁶ ont également été conduits de manière transnationale sur le bassin versant de la Meuse, dans le cadre du projet AMICE (Adaptation of the Meuse to the Impacts of Climate Evolutions), qui réunit sur le sujet de l'adaptation au changement climatique des partenaires allemands, belges, français et néerlandais représentant les organisations de gestion de l'eau du bassin versant de la Meuse.

⁴⁵ « La Loire à l'épreuve du changement climatique », F. Moatar, A. Ducharne, D. Thiéry, V. Bustillo, E. Sauquet, J.-P. Vidal, *in Géosciences*, n°12, 2010.

⁴⁶ « Analysis of climate change, high-flows and low-flows scenarios on the Meuse basin », G. Drogue, M. Fournier, A. Bauwens, H. Buiteveld, F. Commeaux, A. Degré, O. De Keizer, S. Detrembleur, B. Dewals, D. François, E. Guilmin, B. Hausmann, F. Hissel, N. Huber, S. Lebaut, B. Losson, M. Kufeld, H. Nacken, M. Piroton, D. Pontégnie, C. Sohier, W. Vanneville, Charleville-Mézières, 2010.

Celui-ci se situe à la frontière de deux zones climatiques aux comportements divergents : le nord de l'Europe qui est supposé connaître à terme une augmentation des précipitations, et le sud de l'Europe qui connaîtrait une baisse des précipitations. De ce fait, il est difficile d'attribuer une tendance à l'évolution de l'impact du changement climatique. Pour dépasser cette incertitude, l'équipe projet a donc décidé de travailler sur deux options : une famille de scénarios « secs » et une famille de scénarios « humides ». Les partenaires de chaque pays se sont donc accordés pour définir à leur tour une version « sec » et une version « humide » de leur scénario climatique habituel de référence. Par ailleurs, un scénario climatique transnational (toujours décliné en « sec » et « humide ») a également été élaboré.

Chacun des partenaires utilisant ses propres modèles hydrologiques, le rapport final permet de voir quelles sont les évolutions potentielles dans chaque sous-bassin aux horizons du milieu (2021-2050) et de la fin (2071-2100) du siècle. Les deux indicateurs retenus par l'ensemble des équipes sont le débit horaire maximal atteint ou dépassé en moyenne tous les cent ans (indicateur de crue) et le débit moyen minimum sur 7 jours entre avril et septembre chaque année (indicateur d'étiage).

Quel que soit le scénario (sec ou humide), le rapport mentionne que l'indicateur d'étiage baisse. Par contre, la tendance sur l'indicateur de crue dépend du scénario (sec ou humide) : le débit horaire centennal augmente en scénario humide et baisse en scénario « sec ». Au final, le résultat retenu par les partenaires du projet AMICE est celui d'une augmentation du débit horaire centennal de 15 % sur 2021-2050 et de 30 % sur 2071-2100, en même temps qu'une diminution du débit minimum annuel sur 7 jours de 10 % pour 2021-2050 et 40 % pour 2071-2100.

Sans que cela ne soit une validation en soi, on notera tout de même que les 4 études de cas présentées ici (Rhône, Seine, Loire et Meuse) ont des résultats relativement cohérents avec les travaux sur séries historiques de Renard en 2006. Ils sont également cohérents avec l'étude multi-modèles⁴⁷ à l'échelle de la France qui avait été mobilisée en 2009 dans le cadre des travaux de l'ONERC. Ces travaux de thèse concluaient en effet à une « forte diminution généralisée des débits moyens en été et en automne, (des) étiages plus fréquents et sévères, (et une) augmentation des débits en hiver sur les Alpes et le sud-est du pays, (avec des) changements bien plus modérés des débits intenses que des débits moyens »⁴⁸.

E) Les feux de forêts

La France métropolitaine connaît chaque année environ 4 000 départs de feu, pour une surface brûlée totale d'environ 24 000 hectares⁴⁹ qui diminue tous les ans. Cette diminution est également observée à la Réunion, seul département d'outre-mer (DOM) dont les communes sont classées à risque pour cet aléa. La surface brûlée y est passée de 10 000 hectares brûlés sur 1966-1988 à 1 909 hectares sur 1990-2006, soit une division par 4 de la surface moyenne annuelle brûlée⁵⁰.

Les principales conclusions de l'évolution de cet aléa dans le cadre du changement climatique figurent dans un rapport⁵¹ réalisé conjointement par l'Inspection Générale de l'Administration, le Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable et le Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux⁵².

Il apparaît que la cartographie des zones les plus à risques en métropole recoupe très bien celle des zones pour lesquelles l'Indice Forêt-Météo (IFM) atteint ou dépasse un certain niveau⁵³. En l'occurrence, le critère retenu par la mission était « la proportion de jours entre le 15 mai et le 15 octobre avec un IFM égal ou supérieur à 14 », et le seuil identifié est celui « trois jours sur quatre ». Les travaux de la mission d'inspection permettent donc de faire l'hypothèse que la zone à forte susceptibilité de feu de forêt correspond à l'ensemble des points du territoire pour lesquels l'IFM modélisé est en moyenne supérieur à 14 plus de trois jours sur quatre entre le 15 mai et le 15 octobre.

Les trois cartes ci-dessous reprennent le classement des points du territoire selon quatre niveaux d'IFM et trois périodes temporelles dont celle de référence (1989-2008).

⁴⁷ « Changement global et cycle hydrologique : une étude de régionalisation sur la France », J. Boé, Toulouse, 2007.

⁴⁸ *Ibid.*, p.253.

⁴⁹ « Le risques de feux de forêts en France », C. Magnier, *Observation et Statistiques n°45*, Paris, 2011.

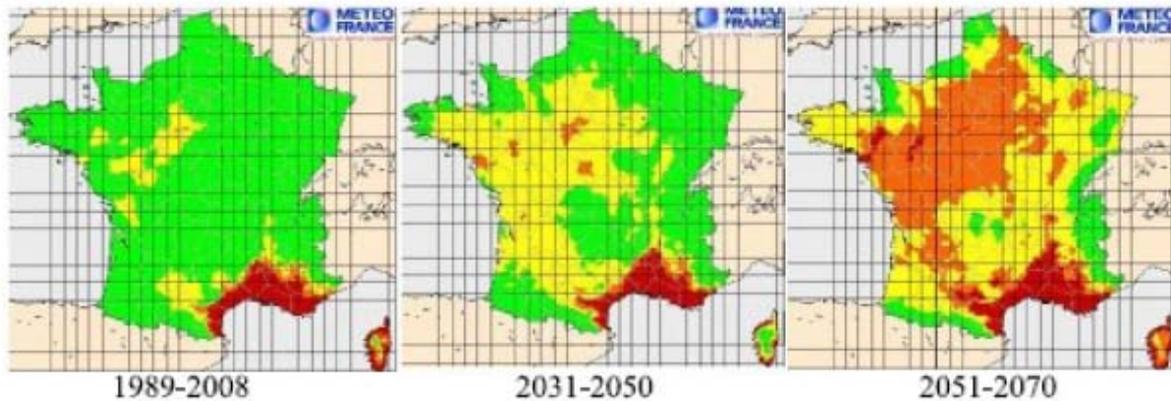
⁵⁰ *Ibid.*

⁵¹ « Rapport de la Mission Interministérielle - Changement Climatique et Extension des Zones Sensibles aux Feux de Forêts », C. Chatry, M. Le Quentrec, D. Laurens, J.-Y. Le Gallou, J.-J. Lafitte, B. Creuchet and J. Grelu, Paris, 2010.

⁵² Ces trois services de l'Etat remplissant des missions d'inspection pour respectivement le Ministère de l'Intérieur, de l'Outre-Mer, des Collectivités Territoriales et de l'Immigration, le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, et le Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire.

⁵³ L'IFM est un indicateur permettant de mesurer la propension à l'éclatement et au développement d'un feu de forêt en fonction de paramètres météorologiques, et utilisé par les services opérationnels de plusieurs pays pour l'estimation du danger de feu de forêt. Dans le cadre du rapport dont il est question ici, l'information sur l'IFM est calculée à l'échelle de pixels représentant des carrés d'environ 8 kilomètres de côté.

Figure 6 : Partition de la France suivant la proportion de jours avec un IFM au-delà de 14 entre le 15 mai et le 15 novembre



Source : Chatry et al., 2010

Les couleurs **vert**, **jaune**, **orange** et **rouge** correspondent respectivement à « moins de 1 jour sur quatre », « entre 1 et 2 jours sur 4 », « entre 2 et 3 jours sur 4 » et « plus de 3 jours sur 4 ».

Concernant les coûts de l'aggravation de l'aléa feux de forêts, les inspecteurs généraux ont emprunté une approche originale. Au lieu de s'interroger sur les dommages supplémentaires engendrés par l'aléa (ce qui consiste à faire l'hypothèse implicite de moyens d'action constants), ils se sont posé la question de l'augmentation nécessaire des moyens publics pour maintenir le niveau actuel de dommages.

Ce travail n'est bien entendu possible qu'en disposant, d'une part du coût de la politique de gestion des feux de forêt (traité dans le rapport de la Mission), et d'autre part d'une bonne connaissance des relations entre une aggravation de l'aléa et les moyens humains et matériels nécessaires pour la contrer.

En se basant sur une dépense actuelle (Union Européenne, Etat, collectivités et propriétaires forestiers confondus) d'environ 500 M€ par an, dont 1/3 de charges fixes, et une extension des surfaces à risques de l'ordre de 30 % d'ici 2040, ils ont évalué à 100 M€₂₀₁₀ l'augmentation des coûts annuels de gestion des feux de forêts (soit 20 %). Cette augmentation n'est naturellement valable qu'en faisant l'hypothèse que la puissance publique maintiendra la même exigence de sécurité qu'actuellement, que ce soit en raison d'exigences réglementaires ou de la demande sociale.

Le changement climatique pourrait ainsi coûter près de 100 M€ supplémentaires par an à la France d'ici 2040 (avec l'hypothèse que les dépenses de prévention permettent d'éviter des dommages d'une valeur supérieure à leur coût),

Les auteurs du rapport prennent néanmoins de nombreuses précautions pour rappeler que les résultats sont entachés des incertitudes inhérentes aux manques de connaissance sur un sujet complexe qui nécessite d'étudier les intrications entre des facteurs météorologiques (vent, humidité, température) et biologiques (répartition des types de végétation et leur sensibilité aux feux de forêts).

F) Les effets du vent

Les tempêtes (et autres phénomènes liés au vent) sont souvent citées en tant qu'exemple d'aléa susceptible de subir les conséquences du changement climatique. La question est d'autant plus cruciale que les dommages associés à cet aléa sont, actuellement, très importants. Ainsi, d'après la Fédération Française des Sociétés d'Assurance⁵⁴, les tempêtes ont coûté au total 16,6 milliards d'euros entre 1988 et 2007 en France métropolitaine.

Plusieurs départements d'Outre-mer sont en sus concernés par le risque lié aux tempêtes tropicales (événements cycloniques). Ainsi Mayotte et la Réunion peuvent être touchées par des cyclones de décembre à mars (avec un maximum entre janvier et mars)⁵⁵ tandis que la Guadeloupe et la Martinique sont touchées entre juin/juillet et novembre⁵⁶. La Guyane est le seul département d'Outre-mer à l'abri des cyclones, bien que cela ne le mette pas à l'abri de vents violents, comme la métropole⁵⁷.

⁵⁴ « Synthèse de l'étude relative à l'impact du changement climatique et de l'aménagement du territoire sur la survenance d'événements naturels en France », FFSA, Paris, 2009.

⁵⁵ Voir les Dossiers Départementaux des Risques Majeurs de ces départements.

⁵⁶ *Ibid.*

⁵⁷ Voir le Dossier Départemental des Risques Majeurs de Guyane.

Il n'existe pas à l'heure actuelle d'éléments probants laissant supposer une augmentation de l'intensité ou de la fréquence des tempêtes hivernales en France métropolitaine. La seule modification envisagée en l'état actuel des connaissances est celle des couloirs des tempêtes, qui se déplaceraient au nord de leur zone de passage actuelle⁵⁸.

Au niveau mondial, l'analyse des événements des 35 dernières années a permis à certains chercheurs⁵⁹ de mettre en avant une modification du régime de production des ouragans. Celle-ci prend la forme, sur tous les océans, d'une augmentation de la proportion d'événements de catégorie 4 et 5 (les plus importants en intensité), à fréquence constante de production de ces événements. A nombre constant d'ouragans, la probabilité d'obtenir un événement de catégories 4 ou 5 a augmenté entre 1970 et 2004, passant de 20 % à 35 %. Toutefois, l'intensité maximale des ouragans est, elle, restée constante sur les 35 dernières années.

La fréquence d'apparition des ouragans ne semble pas augmenter de manière significative sur la période observée, exceptée sur l'Atlantique Nord, où le nombre global d'ouragans a tendance à augmenter depuis 1995 avec une significativité à 1 %. Cette tendance s'accompagne également d'une augmentation significative de la température de surface de cet océan, ce qui pourrait laisser penser qu'il s'agit là d'une conséquence du changement climatique.

Toutefois, d'autres océans également touchés par une hausse de leur température de surface ne connaissent pas d'augmentation de la fréquence des ouragans. Cette conclusion ne fait donc pas consensus. Les auteurs de l'article ne rejettent d'ailleurs pas la possibilité de l'intervention de phénomènes inconnus et indépendants du changement climatique, par exemple ceux liés aux oscillations océaniques.

G) Les aléas gravitaires (mouvements de terrain⁶⁰, avalanches)

Les aléas gravitaires sont ici définis comme toute la gamme des glissements de terrain, effondrement, affaissements, chutes de blocs... auxquels il faut rajouter les avalanches. En France, ces événements produisent annuellement assez peu de dommages par rapport aux autres aléas naturels. En effet, l'aire d'impact de chaque événement est très limitée, contrairement à d'autres risques tels que les inondations ou les séismes⁶¹.

Par contre, leur violence et leur soudaineté sont responsables de coûts « par bien sinistré » largement supérieurs à ceux des autres aléas naturels. Elles impliquent également une mise en danger importante de la vie humaine. Pour ces raisons, et malgré leur faible coût total relatif, les risques gravitaires constituent une des priorités de la politique nationale de prévention des risques naturels.

Les travaux synthétisés par l'ONERC en 2009⁶² ne pouvaient prédire une quelconque évolution du régime de ces aléas. Toutefois, ils rappellent que la pluviométrie est un facteur aggravant du déclenchement des événements catastrophiques (effondrements de cavités, éboulements, glissements de terrain,...)⁶³. Une éventuelle augmentation de la pluviométrie hivernale sera donc susceptible d'entraîner une hausse de la fréquence de ces événements.

Toutefois, la température est également un facteur à prendre en considération dans l'étude du déclenchement d'un éboulement. Ainsi, une présentation récente⁶⁴ a permis de mettre en lumière le lien entre la température de l'air et la production de chutes de blocs en montagne. En effet, la détérioration du permafrost suite à son réchauffement entraînerait une mise en instabilité des blocs, qui se traduirait dès lors par une hausse de la fréquence de ces événements.

⁵⁸ « Impact des changements anthropiques sur la fréquence des phénomènes extrêmes de vent, de température et de précipitations – Rapport final », Michel Déqué et al., 2003.

⁵⁹ « Changes in tropical cyclone number, duration and intensity in a warming environment », P.J. Webster, G.J. Holland, J.A. Curry and H.-R. Chang, in *Science* n°5742, 2005.

⁶⁰ A l'exception des RGA, traités précédemment.

⁶¹ C. Grislain-Letrémy et C. Peinturier, 2010.

⁶² « Evaluation du coût des impacts du changement climatique et de l'adaptation en France, rapport de la deuxième phase », ONERC, Paris, 2009.

⁶³ Sur le rôle de la pluviométrie, on pourra aussi se reporter à « Quelques remarques sur l'emploi des probabilités dans le domaine des risques naturels - cas des mouvements de terrain », J.-L. Durville, Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, Paris, 2004.

⁶⁴ « A Study of the Rockfalls Occurred in 2009 in the Mont Blanc Massif », L. Raveland and P. Deline, *Symposium « Rock Slope Stability 2010 »*, Paris, 2010.

IV. Quelles évolutions à venir pour les coûts des catastrophes ?

Au vu de l'ensemble des paramètres influant sur les coûts des catastrophes naturelles énoncés précédemment, il apparaît que tout exercice de prospective sur les dommages futurs causés en France par les catastrophes naturelles se heurte à de nombreuses difficultés.

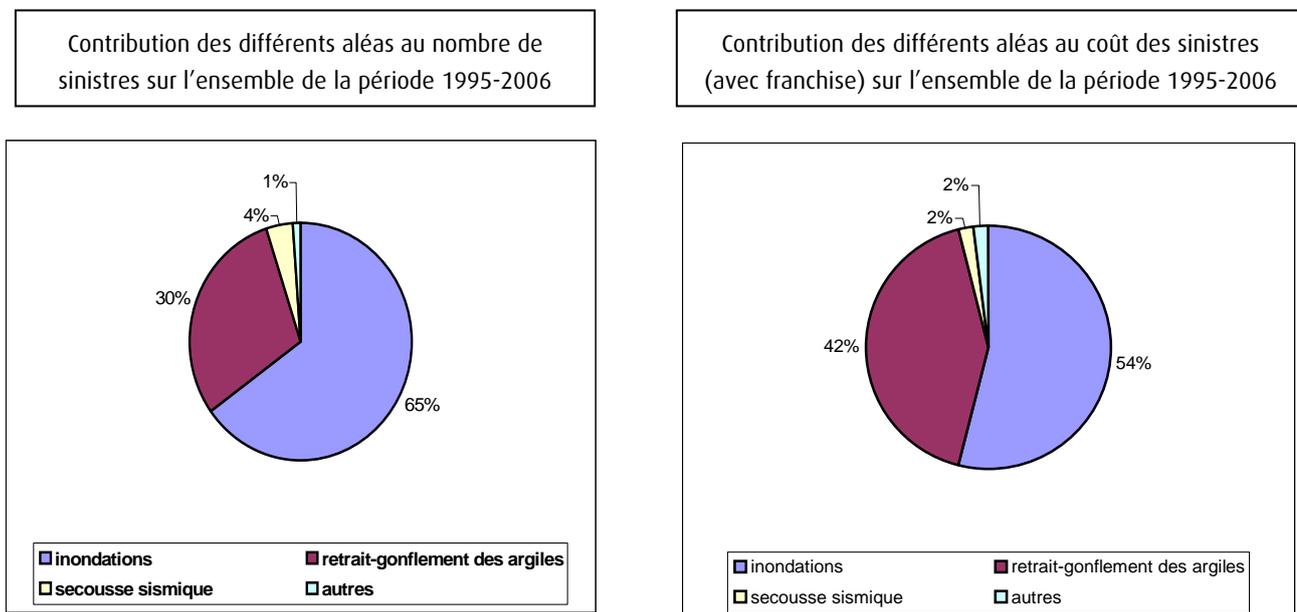
Il est néanmoins possible de tirer quelques conclusions sur les tendances futures.

IV.1. Quelles sont les conséquences potentielles ?

Les conséquences économiques du changement climatique sur un aléa dépendent de la part relative du coût de cet aléa dans le total des dommages naturels générés. Ainsi, l'augmentation de la fréquence ou de l'intensité d'un aléa naturel très peu coûteux peut n'avoir qu'un impact très limité en termes de dommages générés. Il convient donc de se poser la question des coûts actuels des différents phénomènes modifiés par le changement climatique avant de s'inquiéter de l'aggravation de l'un d'entre eux.

La figure 7 et le Tableau 1 précisent les poids respectifs des différents aléas naturels dans le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles en France (dit CatNat), de 1995 à 2006⁶⁵.

Figure 7 : Part des différents aléas naturels dans le régime CatNat entre 1995 et 2006



Source : Grislain-Letrémy et Peinturier (2010)

Tableau 1 : Nombre de sinistres et coût associé pour les différents aléas naturels dans le régime CatNat entre 1995 et 2006

	inondations	retrait gonflement des argiles	Secousse sismique	Autres	Total
Nombre de sinistres	501 000	231 000	34 000	11 000	778 000
Coût total en M€2006 (franchises incluses)	4 683	3 533	132	164	8 512

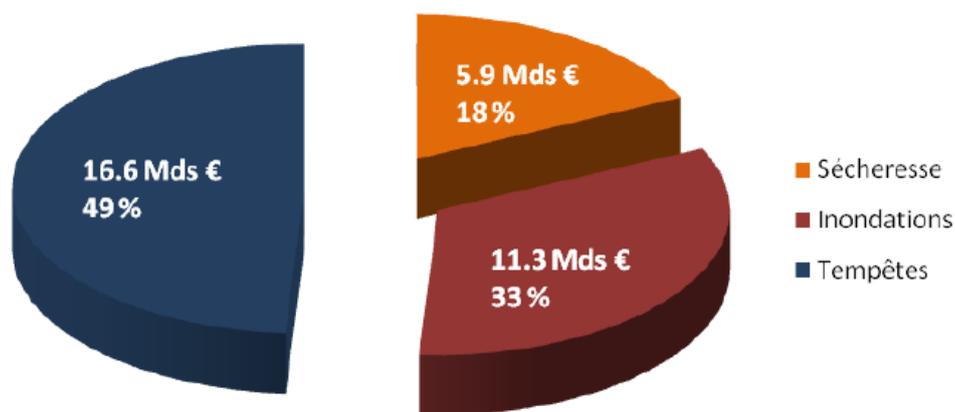
Source : Grislain-Letrémy et Peinturier (2010)

⁶⁵ Excepté pour les RGA dont la série de données s'arrête en 2003.

Les deux aléas naturels couverts par le système CatNat, à savoir les inondations et les RGA, représentent à eux deux environ 95 % des coûts et des sinistres. Il faut par contre préciser qu'une partie des dommages causés par les submersions marines est comptabilisée dans les inondations, ce qui rend difficile l'estimation de leur poids réel dans le régime.

Toutefois, CatNat ne couvre pas tous les risques naturels et n'est qu'une des garanties incluses dans les contrats d'assurance des dommages aux biens. Elle ne couvre donc pas tous les dommages générés par les risques naturels. Ainsi, les tempêtes (hors événement cyclonique) sont couvertes par les garanties « Tempête-Grêle-Neige » incluses dans ces mêmes contrats d'assurance des biens. Les sinistres feux de forêts, lorsqu'ils concernent un bien bâti, sont couverts par la garantie « incendie » des contrats d'assurance⁶⁶.

Figure 8 : Poids des principaux risques naturels indemnisés par les contrats multi-risques entre 1988 et 2007



Source : FFSA (2009)

Les chiffres de la figure 8 corroborent les conclusions tirées de la Figure 7 : les RGA et les inondations représentent bien une part très importante des dommages indemnisés par le système d'assurance. Toutefois, ils ne représentent qu'environ la moitié des dommages indemnisés, l'autre moitié étant constituée des sinistres causés par les tempêtes. La FFSA a choisi de ne pas faire apparaître les dommages indemnisés dus à des feux de forêts dans cette figure, ce qui indique qu'elle les considère vraisemblablement comme négligeables par rapport aux dommages causés par les autres aléas.

Au vu des éléments avancés au chapitre III, les aléas les plus préoccupants pour la France dans la perspective du changement climatique sont donc très clairement les RGA. Les inondations et les tempêtes ne semblent pas en effet enclines à connaître une aggravation conséquente de leur fréquence ou de leur intensité. Les RGA conjuguent un poids annuel élevé et une augmentation de leur fréquence qui fait relativement consensus dans la communauté scientifique.

Toutefois, deux autres aléas au moins peuvent se révéler préoccupants sur le plan économique. C'est le cas des feux de forêts et du recul du trait de côte.

Les feux de forêts représentent des dépenses de prévention et de gestion du même ordre de grandeur que les dépenses d'indemnisation des inondations (soit environ 500 millions d'euros annuels). Si les feux de forêts sont donc peu visibles dans les comptes des assureurs, c'est parce que les dépenses de prévention engagées par la collectivité sont conséquentes. Une extension de l'aire de répartition des deux de forêts engendrera donc mécaniquement une augmentation des coûts de gestion de cet aléa. Du fait de cet équilibre entre les coûts d'indemnisation et les coûts de gestion, ce sont donc les propriétaires fonciers, les collectivités et l'Etat qui se trouveraient en première ligne pour assumer les conséquences financières de l'aggravation de cet aléa.

⁶⁶ « Assurance des risques naturels en France : sous quelles conditions les assureurs peuvent-ils inciter à la prévention des catastrophes naturelles ? », C. Letrémy, *Études et Documents n°1*, Paris, 2009.

Par ailleurs, le phénomène attendu de montée du niveau de la mer représente un aléa jusque-là inconnu. Il est donc impossible, à partir des données connues sur les dommages, de tirer des conclusions sur les conséquences potentielles de ce nouveau danger. Les différentes études présentées en III, dans la section sur les risques littoraux, illustrent bien l'ampleur des dommages possibles de cette montée des eaux qui, d'une part se produiraient sur une surface extrêmement grande, et d'autre part paraît difficile à prévenir.

Les données du passé permettent donc d'estimer partiellement quels aléas pourraient connaître une aggravation inquiétante de leurs coûts, qu'il s'agisse donc d'indemnisation ou de prévention. Toutefois, ainsi qu'expliqué au II, les aléas ne sont pas les seuls déterminants de l'augmentation ou de la diminution des coûts des événements naturels. Se poser la question du coût à venir des risques naturels, dans la perspective du changement climatique, impose donc de se poser parallèlement la question de l'évolution des paramètres socio-économiques pertinents.

IV.2. Comment améliorer l'évaluation prospective des coûts à venir ?

La question des influences comparées du changement climatique d'une part et des paramètres socio-économiques d'autre part avait été abordée dans le rapport de l'ONERC de 2009 à travers le sujet du mouvement des argiles (les RGA). Comme rappelé en II, il avait été estimé qu'une augmentation annuelle d'environ 1 % de la taille du parc de logements cumulée aux effets du changement climatique impliquerait, sur vingt ans, un surcoût équivalent au coût imputable au seul changement climatique.

Pour le dire autrement, le changement climatique et l'accroissement du nombre de logements sont responsables dans des proportions similaires du surcoût attendu sur la période 2010-2030 par rapport aux conditions de 2009.

Figure 9 : Dommages cumulés estimés sur 2010-2030, suivant le scénario climatique et le taux de croissance du parc immobilier

Taux de croissance du parc	0%			0,925 % par an	
Scénario	Sans CC	A2 min	A2 max	A2 min	A2 max
Dommage total sur 2010-2030 (millions d'euros)	4 906,40	5 244,6	7637,9	6 154,8	9 049,2

Taux de croissance du parc	0%			0,925 % par an	
Scénario	Sans CC	B2 min	B2 max	B2 min	B2 max
Dommage total sur 2010-2030 (millions d'euros)	4 906,40	5253,7 ¹⁰	6 289,0	6 163,4	7 403,8

Source : Plat et al. (2009)

Cet exemple illustre la nécessité d'anticiper non seulement les évolutions physiques des aléas, mais également les évolutions socio-économiques des enjeux.

L'étude sur les conséquences du changement climatique sur la France produite par la FFSA⁶⁷ constitue le seul exemple en France d'un travail sur les risques naturels⁶⁸ se voulant assez complet et prenant en compte ce paramètre. Elle se base sur la prolongation pendant vingt ans des tendances sur l'exposition des particuliers et celles des entreprises observées de 1988 à 2007, c'est-à-dire les choix d'installation des logements et des entreprises (ce qui équivaut à estimer des taux de croissance locaux). Sous ces hypothèses, l'étude conclut à un surcoût (sur les vingt années) de 16 milliards d'euros uniquement du fait des facteurs socio-économiques.

⁶⁷ FFSA (2009).

⁶⁸ Une étude équivalente, nommée Explore 2070, est actuellement en cours au MEDDTL, mais sur la question de la ressource en eau et avec l'objectif de permettre la définition de stratégies d'adaptation à l'horizon 2070. Voir « Explore 2070 - Eau et changement climatique : quelles stratégies d'adaptation possibles ? », DGALN, Paris, 2011.

Les projections de la FFSA en termes d'évolution des aléas (ici les tempêtes, les RGA et les inondations) ne sont malheureusement pas scientifiquement étayées, aussi l'exercice ne peut-il être considéré que comme une étude de sensibilité, au demeurant très intéressante. Ainsi, on constate qu'en doublant la fréquence des événements rares d'une part, et en augmentant de 10 à 15 % les fréquences des événements fréquents d'autre part, le total des dommages supplémentaires ainsi modélisés n'atteint qu'un montant de 14 Md€ sur les mêmes vingt années, soit une augmentation comparable à celle calculée pour les facteurs socio-économiques.

Par contre, la FFSA rappelle un élément extrêmement important : une augmentation des dommages possibles du fait de l'augmentation de la valeur totale assurée, cela signifie parallèlement plus de cotisations pour couvrir les sinistres. Si l'enrichissement de la société implique une croissance proportionnelle des dommages possibles, cela reste tout de même un enrichissement. Ainsi, si le volume assuré passe de 100 à 120 et qu'en même temps les dommages possibles passent de 1 à 1,2 alors le dommage relatif ne reste toujours que de 1 %.

Ce qui importe donc, ce sont les évolutions de la vulnérabilité ou de l'exposition car elles modifient le poids du dommage relatif et « perturbent » donc la capacité d'une société à se couvrir contre les événements naturels. Ces facteurs sont donc justement ceux détaillés en II, et que les scientifiques ont tenté de « neutraliser » dans les études (décrites en III) qui visent à capturer un éventuel effet du changement climatique sur les dommages passés.

Ces facteurs sont donc, pour la plupart, désormais bien connus, et certains sont même aujourd'hui quantifiables à des échelles assez fines : augmentation de la population, augmentation de la richesse, voire même augmentation de la population et de la richesse exposée.

Il reste toutefois encore à être capable d'élaborer des modèles les prenant en compte et dans lesquels ces paramètres puissent être modifiés pour tester les conséquences possibles de leurs évolutions. Ce qui implique notamment de pouvoir tester ces modèles sur le passé pour les étalonner...

Malgré toutes les difficultés de ces travaux, la plus grande réside peut-être dans la capacité des chercheurs à projeter les évolutions sociétales d'aujourd'hui pour imaginer la vulnérabilité des sociétés de demain. Qui aurait pu, il y a une vingtaine d'années, imaginer qu'une inondation en Thaïlande viendrait provoquer par ricochet une hausse en France de 10 % du prix des ordinateurs⁶⁹ ?

Ces questions sont définitivement du domaine de la recherche, parce que les modèles devront constamment évoluer pour intégrer les nouveaux facteurs de vulnérabilité que créera notre société.

⁶⁹ « Disques durs : les prix flambent après les inondations en Thaïlande », S. Long, 01net.com, le 3 novembre 2011.

V. Conclusion

Au cours des décennies passées, les pertes économiques associées aux événements catastrophiques naturels (climatique ou non) ont connu une augmentation considérable. Ce constat, largement relayé par les (ré)-assureurs mondiaux, a donné lieu à des recherches d'explications et le changement climatique a ainsi pu être avancé comme l'un des facteurs explicatifs de cette évolution.

La grande majorité des travaux scientifiques sur la question conclut que d'autres facteurs que le changement climatique expliquent cette augmentation du coût des catastrophes naturelles. Il n'existe pas à l'heure actuelle de preuves concrètes que le changement climatique ait influé sur les dommages causés par les catastrophes naturelles au cours des dernières décennies.

En revanche, ces travaux ont permis de mettre en lumière des liens importants de causalité entre les évolutions socio-économiques de nos sociétés modernes d'une part et l'évolution de ces dommages (économiques ou humains) d'autre part. Ces évolutions intègrent aussi bien des données quantitatives (démographie, économie) que qualitatives (usages du sol, vulnérabilité des biens). Par ailleurs, des biais de perception peuvent également être à l'origine d'une sous-estimation des conséquences des catastrophes les plus anciennes.

Les travaux prospectifs engagés par les scientifiques dans le domaine des sciences de la nature permettent de considérer que les évolutions à venir du climat ne seront pas sans effet sur un certain nombre d'aléas naturels. Dans l'ensemble, l'évolution générale devrait se situer entre la stagnation des régimes actuels et l'aggravation des aléas, en fréquence ou en intensité. Toutefois, il reste difficile d'anticiper concrètement la dynamique réelle des changements potentiels d'ici la fin du XXI^{ème} siècle.

Au vu de l'évolution de nos sociétés d'une part, et des aggravations des aléas que le changement climatique entraînera d'autre part, il est donc très probable que le coût total annuel des événements naturels poursuive son augmentation dans les années à venir, voire même que cette augmentation s'accélère. A moins, bien entendu, que les moyens de la politique nationale de prévention des risques soient renforcés afin de tenir compte de cette dégradation de la situation.

Estimer cette augmentation attendue du coût des catastrophes naturelles n'est pas un exercice aisé. Il requiert de comprendre d'abord les conséquences quantitatives de certains paramètres sur ce coût, et ensuite d'être en mesure d'évaluer les évolutions futures des paramètres identifiés, qu'ils soient socio-économiques ou physiques.

Cependant, malgré les nombreuses sources d'incertitude inhérentes à ce travail, il est nécessaire enfin d'évaluer les conséquences attendues pour chaque risque naturel. Cette estimation des dommages futurs potentiels pour chaque aléa permettra au fur et à mesure de l'amélioration des connaissances de mieux orienter la politique nationale de prévention des risques, afin que les choix pris aujourd'hui se révèlent des stratégies efficaces à l'avenir.

Annexe – Typologie des risques naturels

1. Inondation

- 1.1. Par une crue (débordement de cours d'eau)
 - 1.1.1. Débordement lent
 - 1.1.2. Débordement rapide (torrentiel)
- 1.2. Par ruissellement et coulée de boue
 - 1.2.1 Rural (souvent accompagnée de coulées de boue et d'eau boueuse)
 - 1.2.2 Urbain ou péri-urbain (souvent accompagnée d'eau boueuse)
- 1.3 Par lave torrentielle (torrent et talweg)
- 1.4 Par remontées de nappes naturelles
- 1.5 Par submersion marine
 - 1.5.1. Houle, mare de tempête
 - 1.5.2. Raz-de-marée, tsunami

2. Mouvement de terrain

- 2.1 Affaissement
 - 2.1.1. Dû à des cavités anthropiques
 - 2.1.2. Dû à des cavités naturelles
- 2.2. Effondrement
 - 2.2.1. Localisé (fontis), dû à des cavités anthropiques
 - 2.2.2. Localisé (fontis), dû à des cavités naturelles
 - 2.2.3. Généralisé dû à des cavités anthropiques
- 2.3. Éboulement, chutes de pierres et de blocs
 - 2.3.1. Chutes de pierres et de blocs
 - 2.3.2. Éboulement en masse
 - 2.3.3. Éboulement en grande masse (ou écroulement)
- 2.4. Glissement de terrain
 - 2.4.1. Glissement
 - 2.4.2. Coulées boueuses issues de glissements amont
- 2.5. Avancée dunaire
- 2.6. Recul du trait de côte et de falaises
 - 2.6.1. Littoral - côte basse
 - 2.6.2. Littoral - côte à falaise
 - 2.6.3. Berges fluviales
- 2.7. Tassements différentiels

3. Séisme

4. Avalanche

5. Éruption volcanique

- 5.1. Coulées (ou intrusions) de lave
- 5.2. Coulées pyroclastiques
- 5.3. Retombées aériennes
- 5.4. Gaz
- 5.5. Lahars 2

6. Feu de forêt

7. Phénomène lié à l'atmosphère

- 7.1. Cyclone/ouragan (vent)
- 7.2. Tempête et grains (vent)
 - 7.2.1. Tempête (vent)
 - 7.2.2. Ligne de grains
 - 7.2.3. Grains
- 7.3. Trombe (vent)
- 7.4. Foudre
- 7.5. Grêle
- 7.6. Neige et pluie verglaçante
 - 7.6.1. Neige
 - 7.6.2. Pluie verglaçante

Source : Vignal C. Laroche R., « *Les événements naturels dommageables en France et dans le Monde en 2002* », La documentation française, janvier 2003

Liste des figures

Figure 1 : Pertes totales et pertes assurées à l'échelle mondiale de 1980 à 2010	12
Figure 2 : Série des dommages causés par les inondations, avant et après normalisation, en millions de dollars US	14
Figure 3 : Représentation du décalage de l'aléa sur le littoral	16
Figure 4 : Résultats des tests de détection d'évolution sur des séries longues hydrométriques en France métropolitaine	18
Figure 5 : Débits simulés de la Seine, à Poses	19
Figure 6 : Partition de la France suivant la proportion de jours avec un IFM au-delà de 14 entre le 15 mai et le 15 novembre ..	21
Figure 7 : Part des différents aléas naturels dans le régime CatNat entre 1995 et 2006	23
Figure 8 : Poids des principaux risques naturels indemnisés par les contrats multi-risques entre 1988 et 2007	24
Figure 9 : Dommages cumulés estimés sur 2010-2030, suivant le scénario climatique et le taux de croissance du parc immobilier	25

Bibliographie

Arrhenius, S.A., « On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground » in *Philosophical Magazine and Journal of Science*, avril 1896.

Barredo, J.I., « Normalised flood losses in Europe: 1970–2006 », in *Natural Hazards and Earth System Sciences*, n°9, 2009.

Brugnot, G., Cassayre, Y., « De la politique française de restauration des terrains en montagne à la prévention des risques naturels », XII^{ème} Congrès forestier mondial, Québec City, Canada, 2003.

Boé, J., « Changement global et cycle hydrologique : une étude de régionalisation sur la France », thèse, Université Paul Sabatier, Toulouse III, 2007.

Calvet, L., Grislain-Letrémy, C., « La faible couverture des ménages des DOM contre les catastrophes naturelles - Analyse de la souscription à l'assurance habitation », Le point sur n°46, Commissariat Général au Développement Durable, MEEDDM, Paris, 2010.

CARE International, « In search of shelter: mapping the effects of climate change on human migration and displacement », 2008.

CETMEF, CETE Ouest et CETE Méditerranée, « Vulnérabilité du territoire National aux risques littoraux. France métropolitaine », Compiègne, 2009.

Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable, « Le ruissellement urbain et les inondations soudaines - Connaissance, prévention, prévision et alerte », MEEDDAT, février 2009.

Corti, T., V. Muccione, P. Köllner-Heck, D. Bresch, and S. I. Seneviratne, « Simulating past droughts and associated building damages in France », *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2009.

Déqué M. et al., « Impact des changements anthropiques sur la fréquence des phénomènes extrêmes de vent, de température et de précipitations - Rapport final », 2003.

Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature, « Explore 2070 - Eau et changement climatique : quelles stratégies d'adaptation possibles ? », MEDDTM, Paris, 2011.

Droque, G., M. Fournier, A. Bauwens, H. Buiteveld, F. Commeaux, A. Degré, O. De Keizer, S. Detrembleur, B. Dewals, D. François, E. Guilmin, B. Hausmann, F. Hissel, N. Huber, S. Lebaut, B. Losson, M. Kufeld, H. Nacken, M. Piroton, D. Pontégnie, C. Sohler, W. Vanneville, « Analysis of climate change, high-flows and low-flows scenarios on the Meuse basin », Charleville-Mézières, 2010.

Ducharne, A., E. Sauquet, F. Habets, M. Déqué, S. Gascoin, A. Hachour, E. Martin, L. Oudin, C. Pagé, L. Terray, D. Thiéry, P. Viennot, « Evolution potentielle du régime des crues de la Seine sous changement climatique », in *La Houille Blanche*, n°1-2011, Paris, 2011.

Durville, J.-L., « Quelques remarques sur l'emploi des probabilités dans le domaine des risques naturels - cas des mouvements de terrain », in *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, Paris, 2004.

Fédération Française des Sociétés d'Assurance, « Synthèse de l'étude relative à l'impact du changement climatique et de l'aménagement du territoire sur la survenance d'événements naturels en France », Paris, 2009.

Galliot, M., « L'adaptation au changement climatique en France », Observatoire National des Effets du Réchauffement Climatique, Synthèse n°6, Paris, 2011.

Grislain-Letrémy C., Peinturier C., « Le régime d'assurance des catastrophes naturelles en France métropolitaine entre 1995 et 2006 », *Études et Documents* n° 22, MEDDTM/CGDD, Paris, 2010.

Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat, « Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat », Genève, Suisse, 2007.

International Monetary Funds, « World Economic Outlook Database - April 2010 edition », Washington, 2010.

Le Cozannet, G., N. Lenôtre, P. Nacass, S. Colas, C. Perherin, C. Vanroye, C. Peinturier, C. Hajji, B. Poupat, S. de Smedt, C. Azzam, J. Chemitte, F. Pons, « Impacts du Changement Climatique, Adaptation et coûts associés en France pour les Risques Côtiers - Rapport du Groupe de Travail Risques Naturels, Assurances et Adaptation au Changement Climatique », BRGM RP 57141, Paris, 2009.

Leblois, E., « Etude des impacts potentiels du changement climatique sur le bassin versant du Rhône en vue de leur gestion - deuxième phase », Lyon, 2005.

Letrémy, C., « Assurance des risques naturels en France : sous quelles conditions les assureurs peuvent-ils inciter à la prévention des catastrophes naturelles ? », Etudes et Documents n° 1, MEDDTM/CGDD, Paris, 2009.

Long, S., « Disques durs : les prix flambent après les inondations en Thaïlande », 01net.com, le 3 novembre 2011.

Lilin, C., « Histoire de la restauration des terrains en montagne au 19^{ème} siècle », in Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXII, n°2, 139-145, 1986.

Miller, Muir-Wood and Boissonnade, « An exploration of trends in normalized weather-related catastrophe losses », Climate Extremes and Society, Cambridge University Press, Cambridge, 2008.

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer, « Circulaire du 7 avril 2010 relative aux mesures à prendre suite à la tempête Xynthia du 28 février 2010 », Paris, 2010.

Moatar, F., A. Ducharne, D. Thiéry, V. Bustillo, E. Sauquet, J.-P. Vidal, « La Loire à l'épreuve du changement climatique », in Géosciences, n°12, 2010.

Munich Re, « Natural Catastrophes 2010 – Analyses, assessments, positions », Topics Geo, Munich, 2011.

Observatoire National des Effets du Réchauffement Climatique, « Evaluation du coût des impacts du changement climatique et de l'adaptation en France », Paris, 2009.

Pielke, R.A., « Mistreatment of the economic impacts of extreme events in the Stern Review Report on the Economics of Climate Change », Global Environmental Change, n°17, 302-310, 2007.

Pielke, R.A., Landsea, C.W., « Normalized hurricane damages in the United States: 1925-1995 », in Weather and Forecasting, n°13, 1998.

Plat, E., M. Vincent, N. Lenôtre, C. Peinturier, B. Poupat, P. Dorelon, P. Chassagneux, J.-B. Kazmierczak, J.-L. Salagnac, S. Gerin, R. Nussbaum et J. Chemitte, « Estimation des coûts du changement climatique liés à l'aléa retrait-gonflement – Rapport final du Groupe de Travail Risques Naturels, Assurances et Changement Climatique », BRGM/RP-56771-FR, Paris, 2009.

Ravanel, L., P. Deline, « A Study of the Rockfalls Occurred in 2009 in the Mont Blanc Massif », Symposium « Rock Slope Stability 2010 », Paris, 2010.

Renard, B., « Détection et Prise en Compte d'Eventuels Impacts du Changement Climatique sur les Extrêmes Hydrologiques en France », Grenoble, 2006.

Stern, « The Economics of Climate Change: The Stern Review », Cambridge University Press, Cambridge, 2007.

Swiss Re, « Catastrophes naturelles et techniques en 2010 : une année marquée par des événements dévastateurs et coûteux », Sigma n°1/2011, Zurich, 2011.

United Nations, « World Population Prospects – The 2006 Revision », Department of Economics and Social Affairs, New-York, 2007.

Webster, P.J., G.J. Holland, J.A. Curry and H.-R. Chang, « Changes in tropical cyclone number, duration and intensity in a warming environment », in Science n°5742, 2005.

White I., « Water Management in the Mekong Delta: Changes, Conflicts and Opportunities », International Hydrological Programme, Paris, 2002.

Zajdenweber, D., « Economie des extrêmes – Krachs, catastrophes et inégalités », 2009.

Commissariat général au développement durable

Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable

Tour Voltaire

92055 La Défense cedex

Tél : 01.40.81.21.22

Retrouver cette publication sur le site :

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

Les déterminants du coût des catastrophes naturelles : le rôle du changement climatique en France

Dans un contexte d'élévation rapide (à l'échelle géologique) de la température, des questionnements récurrents se posent sur l'impact du changement climatique sur les catastrophes naturelles et la nécessité d'anticiper les bouleversements à venir.

L'objectif de l'étude est d'établir un bref état de l'art dans le domaine de l'économie des risques naturels et du changement climatique, afin, à la fois, de donner des clés de lecture des événements passés et de comprendre les points critiques des prochaines décennies.

L'étude s'appuie sur de nombreuses publications scientifiques. Elle constitue une synthèse, non exhaustive, des réflexions et travaux menés au cours des dernières années par les experts économistes et techniques. Il s'agit d'abord d'expliquer, sur la base de ces travaux scientifiques, l'augmentation des coûts des risques naturels qui s'est produite au 21^{ème} siècle, et de discuter de l'influence du changement climatique dans cette augmentation. Il s'agit, ensuite, de déterminer quelles seront les conséquences possibles du changement climatique sur les aléas naturels en France au cours de ce siècle. La dernière partie examine les possibilités de quantifier sur le plan économique ces impacts futurs potentiels.



Dépôt légal : Mai 2014
ISSN : 2102 - 4723