



Direction des Études Économiques  
et de l'Évaluation Environnementale

# Recherche Environnement

## EVENEMENTS EXTREMES, CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET EFFET DE SERRE

### Les événements météorologiques de décembre 1999

Les deux tempêtes ou ouragans qui ont frappé la France, successivement le dimanche 26 et dans la nuit du 27 au 28 décembre, ont présenté un caractère de rare intensité pour nos latitudes.

Le 26 décembre, des vents d'une violence exceptionnelle ont accompagné la très profonde dépression (972 hPa à 07H le 26/12 aux environs de Rouen), avec des rafales entre 126 km/h (de la Bretagne à l'est de la France) et 173 km/h (à Orly) balayant une bande d'une largeur de 150 km environ centrée approximativement le long du 49<sup>ème</sup> parallèle.

Une seconde dépression très creusée (965 hPa sur la pointe de la Bretagne le 27/12 vers 16h) a été accompagnée de rafales de vent atteignant pratiquement 200 km/h à l'Ile d'Oléron, et restant supérieures à 150 km/h sur la partie sud du pays.

Outre ces vents extrêmement violents et dévastateurs, ces deux tempêtes ont été accompagnées de fortes précipitations, entraînant au cours de la semaine suivante de nombreuses et très importantes inondations.

### Ces événements sont-ils exceptionnels ?

Les forces de vent enregistrées pendant ces deux événements sont comparables avec celles ayant accompagné, mais en certains points seulement, les très fortes tempêtes de 1987 et 1990 où des rafales dans la gamme de 140 à 175 km/h

avaient été mesurées en Bretagne et en Normandie.

**Toutefois, on peut affirmer que les deux tempêtes de décembre 1999 sont exceptionnelles tant par leur intensité que par l'extension du territoire concerné par des rafales supérieures à 120 km/h, et que par leur gravité et l'ampleur des conséquences et des dégâts enregistrés. Aucun phénomène comparable n'a été enregistré sur les cinquante dernières années.**

### Peut-on prévoir de tels événements ?

Le modèle de prévision numérique utilisé par Météo-France (ARPEGE) a permis de prévoir l'intense creusement de ces dépressions avec une très bonne précision (par exemple un creusement de 973hPa a été prévu 18h à l'avance pour la tempête du 26/12). Le modèle de prévision d'ensemble utilisé par le Centre Européen de Prévision Météorologique à Moyen Terme (Reading, Royaume Uni) a lui aussi permis de simuler le développement violent de ces tempêtes parmi la gamme des évolutions possibles, mais cependant pas les plus probables, 4 jours à l'avance.

Des difficultés ont toutefois été rencontrées dans les phases intermédiaires de ces prévisions, où la prise en compte des précurseurs des dépressions a parfois été considérée comme peu probable par les schémas d'analyse actuellement en place, et où des observations très importantes mais peu nombreuses ont ainsi été rejetées. Parallèlement à la mise en place de

## SOMMAIRE

### Thème

Événements extrêmes,  
changements climatiques  
et effet de serre  
Une définition et quelques chiffres

### Résultats

Solidarité territoriale et ruissellement  
érosif  
Effets psychologiques des inondations  
de 1992 dans le Vaucluse

### Actualité des programmes de recherche:

Lit'eau, programme de recherche sur la  
gestion durable du littoral  
Changement Climatique  
Evaluation et Prise en compte des  
Risques

n°3/2000

Juin 2000

nouvelles méthodes d'analyse (analyse variationnelle à quatre dimensions) il sera nécessaire à l'avenir d'augmenter la quantité et la qualité des observations disponibles, notamment au-dessus des océans à l'aide de sondeurs spatiaux.

### Constate-t-on un accroissement de la fréquence des événements extrêmes ?

Outre les deux tempêtes de décembre 1999, les toutes dernières années ont vu de nombreux autres éléments météorologiques intenses : sécheresse en Indonésie, au Mexique et en Amérique Centrale, cyclone Floyd, inondations et coulées de boues au Venezuela,...

Il est pourtant difficile de construire une statistique de tels événements, peu fréquents par nature. Une étude systématique sur la France a néanmoins permis de montrer une stabilité du nombre des tempêtes entre 1962 et 1992. Cette étude devrait être complétée tant pour les années actuelles que pour les années antérieures, et étendue spatialement, afin de dégager une éventuelle tendance. Quoi qu'il en soit, **il ne semble pas exister actuellement d'indications indubitables d'une augmentation statistiquement significative, soit de la fréquence, soit de l'intensité de telles tempêtes.**

Y a-t-il un lien entre de tels événements et le changement climatique dû à l'effet de serre ?

*Le réchauffement planétaire et l'effet de serre*

Le dernier rapport du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), daté de 1995, estimait qu'il était peu vraisemblable que le réchauffement de la température de surface observé en valeur moyenne depuis le début du siècle (de 0,6° à 0,9°, selon la référence choisie) soit d'origine entièrement naturelle.

Depuis 1995, plusieurs arguments sont venus à l'appui de ce diagnostic : records de chaleur battus et rebattus ces dernières années, variation de l'étendue des glaces de mer, convergence accrue des simulations climatiques qui ont toutes besoin de faire appel aux effets anthropiques pour reproduire le climat actuel dans sa diversité spatiale et temporelle,...

Le faisceau de présomptions indiquant que nous nous trouvons face à un changement climatique s'est donc renforcé.

### *Changement climatique et événements extrêmes*

Ce changement climatique pourra-t-il à l'avenir s'accompagner d'une multiplication des événements extrêmes ?

Les modèles de simulation climatique (qui sont construits pour nombre d'entre eux à partir de modèles de prévision numérique validés par de nombreux tests) prédisent que le climat se réchauffera à l'horizon 2070 d'une valeur moyenne comprise entre 1° et 4° selon les modèles (au taux actuel d'augmentation de la quantité atmosphérique des gaz à effet de serre). A cette valeur moyenne seront associées des différences importantes dans les effets suivant les zones géographiques. **Ainsi, les modèles prédisent, de façon assez cohérente entre eux, que simultanément le cycle hydrologique s'intensifiera** (zones humides plus humides, zones sèches plus sèches). **De même, le niveau moyen des océans s'élèvera de quelques dizaines de centimètres sur la même période**, modifiant l'évolution dynamique des zones littorales, et accentuant notamment le caractère dévastateur des inondations dans les zones les plus basses de la planète (deltas, atolls,...). **Enfin nombre de ces modèles prédisent des événements El Niño plus forts et, à nos latitudes, une intensification de la cyclogenèse et des routes dépressionnaires sur l'Atlantique, tant en fréquence qu'en intensité.** Pour cette dernière prévision en particulier, il faut souligner que le signal issu de la modélisation est à la limite de la significativité statistique.

Bien évidemment cette estimation statistique des risques dans un climat réchauffé reste à améliorer, et doit faire l'objet de recherches plus spécifiques.

### Conclusion

Il est possible de résumer les éléments actuellement en possession de la communauté scientifique, tant météorologique que climatique, de la façon suivante : **"il n'est pas démontré que les événements météorologiques récents soient le signe d'un changement climatique, mais quand le changement climatique sera pleinement perceptible, il est très vraisemblable qu'il puisse s'accompagner d'une augmentation des événements extrêmes".**

*Ce texte a été rédigé à la demande du MATE par :*

Jean-Claude André, *Président du conseil scientifique du programme "Gestion et Impacts du Changement Climatique (GICC)*

Daniel Cariolle, *Directeur de la Recherche de Météo-France*

Gérard Mégie, *Président du "Comité de Coordination des Sciences de la Planète et de l'Environnement"*

Jean-François Minster, *Directeur Scientifique "Sciences de l'Univers" du CNRS, actuellement président-directeur général de l'IFREMER.*

o o  
o

### *Une définition et quelques chiffres*

Une tempête correspond à l'évolution d'une perturbation atmosphérique ou dépression, affectant une zone de basses pressions de l'atmosphère, de 1000 à 2000km de large; dans cette zone se confrontent deux masses d'air aux caractéristiques bien distinctes, en particulier leur température et leur teneur en vapeur d'eau. Cette confrontation engendre un gradient de pressions très élevé à l'origine de vents violents et le plus souvent de précipitations intenses. La force d'une tempête se mesure à l'échelle de Beaufort (0 à 12). On parle de tempête à partir de 10. Les deux tempêtes de décembre 1999 correspondent à 12 sur l'échelle de Beaufort.

Les données relatives aux principales tempêtes répertoriées en Europe Occidentale et en France métropolitaine sont, du point de vue statistique, rares et dispersées; la mémoire des tempêtes s'inscrit d'avantage par leurs impacts que par leurs caractéristiques météorologiques; il est difficile de rassembler le chiffrage de ces impacts (bilan humain, destruction forestière, impacts financiers, naufrages et pollutions induites,...).

On peut retenir les quelques données suivantes :

- à l'échelle mondiale, les tempêtes représentent 25% du nombre des catastrophes naturelles et 58% des sinistres assurés pour catastrophes naturelles ;
- les tempêtes qui sévissent en Europe Occidentale sont à distinguer des cyclones tropicaux, ne serait-ce que par la prévisibilité de ces derniers, liée à leur régulière périodicité ;
- les tempêtes les plus meurtrières peuvent être dues à des phénomènes de submersion marine : ce fut le cas de la tempête de 1953 qui a sévit sur les Pays-Bas et l'Allemagne et a fait 2000 morts.

*Source :* Les définitions et données ci-dessus ont été colligées au sein du SRP : [annie.ebrard-cassegrain@environnement.gouv.fr](mailto:annie.ebrard-cassegrain@environnement.gouv.fr).

## RESULTATS

### La solidarité territoriale face au ruissellement érosif

La population du Pays de Caux est confrontée à des risques environnementaux liés au ruissellement des eaux pluviales : **ravinement des sols, inondations boueuses catastrophiques, turbidité de l'eau potable et épidémies gastriques**. Ces troubles sont devenus un des soucis majeurs de la vie publique locale, comme le montrent les récentes inondations mortelles de Fécamp et Barentin et les fréquentes interdictions d'alimentation en eau potable. **Le ruissellement place les populations rurales et urbaines en interdépendance socio-économique**. Au sein de chaque bassin versant, les limites administratives (communes, cantons) et les clivages de gestion du territoire (rural/urbain) sont physiquement et socialement transgressés. **La gestion publique de l'eau réunit des acteurs dont les stratégies de développement s'ignorent ordinairement**.

Le cas témoigne des situations où des interdépendances physiques entre activités humaines obligent à **repenser les relations locales de solidarité sur un territoire** : entre exploitants agricoles voisins, entre collectivités amont et aval, entre utilisateurs du sol et utilisateurs de l'eau. Sociologiquement, le bassin versant ne correspond pas forcément à la dimension des groupes d'appartenance (l'entreprise, la parenté, l'association, la commune, le parti, le canton, l'Etat). **C'est donc implicitement sur la motivation collective à être ensemble que portent les efforts d'une gestion solidaire**.

Dans le microcosme de la décision publique locale, l'organisation perd de sa rigidité et devient à géométrie variable. **Comprendre l'évolution d'un dossier n'est alors possible qu'à la condition de le réinscrire dans un système d'échanges plus vaste** où les différents participants sont engagés selon leurs diverses responsabilités et jouent sur plusieurs tableaux la répartition des contraintes et des opportunités.

**Observer un cas de risque physique permet de comprendre l'imbrication de facteurs techniques, économiques**

**et culturels dans l'organisation sociale**.

Cette approche anthropologique, encouragée par le programme Evaluation et Prévention des Risques du MATE, permet de rapprocher géographes et agronomes pour fournir aux acteurs locaux des outils d'aide à la décision.

**Source** : l'analyse développée ci-dessus reprend des éléments d'une thèse INRA SAD/CNRS LADYSS soutenue en 1999 à l'université de Paris X Nanterre. " *Entre recours à l'état et recours au marché, principes de solidarité face au risque de ruissellement érosif en Pays de Caux*". De plus amples renseignements peuvent être obtenus auprès de l'auteur : [cartier@jouy.inra.fr](mailto:cartier@jouy.inra.fr)



**Evaluation épidémiologique des effets psychologiques des inondations de 1992 dans le Vaucluse : une étude transversale en 1997.**

Cette recherche épidémiologique avait pour objectif d'étudier, 5 ans après les faits, l'impact psychologique des inondations de 1992 sur les habitants de deux communes concernées, et notamment d'évaluer la faisabilité de la mise en place d'une telle étude et de valider des échelles psychométriques pour l'évaluation de l'état de stress post-traumatique, des troubles anxieux et des troubles dépressifs.

Une **étude pilote** a été effectuée en 1995-1996 pour évaluer l'acceptabilité de l'étude par les autorités locales et les habitants. Elle a **monté qu'une telle enquête plusieurs années après la catastrophe était faisable mais dépendait de son acceptabilité par les autorités locales et la population**, ce qui n'a pu être obtenu que dans une des deux communes.

L'enquête a eu lieu en juillet 1997 auprès de 500 personnes de cette commune tirées au sort dans le fichier France Télécom et interrogées par téléphone.

**Cette recherche a permis de mettre en évidence les deux points suivants** :

- **Un lien significatif entre la mesure de différents symptômes et l'exposition à l'inondation**. Ce lien s'accompagne d'une relation de type exposition-effet. Bien que l'inondation n'ait pas causé de décès dans la

commune, elle a pu contribuer à l'aggravation et au déclenchement de symptômes psychologiques et à une consommation de soins plus importante chez les personnes les plus exposées.

- **L'existence de certains facteurs de risque**, en particulier le fait d'avoir eu des troubles psychologiques au moment de l'inondation semble prédictif d'un impact psychologique à long terme.

En conséquence, **elle conclut à la nécessité de mieux prendre en compte l'impact psychologique des inondations, surtout en zone rurale**, où la prise en charge des troubles psychologiques peut être plus difficile pour des raisons d'accessibilité aux soins. **Cette recherche** est intéressante sur le plan méthodologique car elle **a fait la preuve de la faisabilité d'une étude post-catastrophe**, tout en soulignant qu'elle dépendait largement de l'acceptabilité des autorités locales et de la population. Elle a également permis la validation des outils utilisés, en particulier l'échelle d'évaluation des symptômes de stress post-traumatique. Enfin, elle a montré que l'interview téléphonique est une méthode fiable et efficace de recueil d'informations dans le domaine de la santé mentale.

Ces principaux résultats même s'ils ne permettent pas de conclure à une relation causale entre les effets évalués et l'inondation soulignent que la dimension psychologique devrait être mieux prise en charge à la suite d'une catastrophe naturelle. Les pouvoirs publics disposent avec ce travail **d'une première analyse sur la persistance, 5 ans après la catastrophe, de troubles psychologiques dans une population exposée et qui a subi des dommages essentiellement matériels et financiers**.

**Source** : Cette étude, réunissant des équipes de l'IPSN (Département de la santé de l'homme), de l'ORS PACA et de la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education de Louvain (Belgique), a été financée par le programme Environnement et Santé du MATE (AO 1996). Des précisions peuvent être obtenus auprès du responsable scientifique de cette étude : [pierre.verger@ipsn.fr](mailto:pierre.verger@ipsn.fr)

## ACTUALITE SCIENTIFIQUE

### Lit'eau, programme de recherche sur la gestion durable du littoral

Le littoral, lieu d'interface entre la terre et la mer, correspond à une partie de l'écosystème marin particulièrement fragile et menacée par les multiples contraintes ou pollutions qui s'exercent sur elle.

En 1998, le MATE a mis en place Lit'eau, un programme de recherche pour une période de 5 ans [1998-2003] qui a pour objectif de **fournir des outils scientifiques d'aide à la décision et des méthodes applicables à la gestion durable du littoral**. Ce programme finalisé est complémentaire du programme national environnement côtier [PNEC] mené par l'INSU et les grands organismes de recherche.

Après deux appels à proposition [1998-2000], un total de 25 projets ont été retenus avec un financement incitatif de 15 millions de francs du MATE, complété par le Ministère de l'Équipement ou les Agences de l'eau.

Les **thèmes abordés** sont :

- **la gestion des apports et la maîtrise de leurs impacts sur les milieux** [excès de nutriments, contaminants chimiques ou microbiologiques, boues de dragage] ;
- **la gestion des écosystèmes littoraux** [nourriceries, espèces envahissantes ou amphyalines, zones à protéger] ;
- **la réhabilitation, la gestion des usages et les aspects socio-économiques**.

### Les suites de la marée noire de l'Erika

Dans le cadre des **engagements du CIADT de Nantes** consacré aux suites de la **marée noire de l'Erika**, un appel à proposition de recherche a été lancé dans le cadre de Lit'eau, concernant les **conséquences écologiques, écotoxicologiques et économiques de la marée noire**. Ces recherches sont destinées à fournir les bases et outils scientifiques pour un **dispositif de suivi** et l'installation d'**observatoires à long terme**.

Les projets sont en cours de sélection et des compléments de financement pourront être apportés par la fondation Totalfina.

Un premier colloque est prévu en mars 2001 qui rassemblera les scientifiques et les gestionnaires pour présenter d'une part les premiers retours d'expériences sur la marée noire de l'Erika mais aussi sur d'autres événements survenus en France ou à l'étranger, et d'autre part les projets de recherche par grandes thématiques.

*michel.robert@environnement.gouv.fr*



### Les recherches sur le changement climatique (Programme GICC 1999)

L'atmosphère et le climat sont soumis à un certain nombre de modifications du fait, notamment, des activités humaines. L'opinion et les pouvoirs publics sont de plus en plus préoccupés par les changements climatiques liés à l'accroissement de l'effet de serre qui risquent d'entraîner des effets néfastes sur les écosystèmes et les ressources naturelles, sur les infrastructures et les activités économiques et plus généralement sur le bien-être des générations futures.

Le premier appel à propositions « Gestion et impacts du changement climatique » (GICC) a permis de sélectionner 22 projets.

Les différents **thèmes** de l'appel sont inégalement couverts par les projets retenus. Les sujets les mieux traités concernent :

- le **développement de modèles socio-économiques pour évaluer l'efficacité et les coûts de différentes stratégies de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES)**, notamment dans les secteurs de l'énergie et de l'agriculture ;
- les **méthodes d'évaluation des sources de GES et des puits de CO<sub>2</sub>** ;
- l'**évaluation des impacts potentiels du changement climatique sur les régimes hydrologiques et la ressource en eau**, notamment dans le bassin versant du Rhône, ainsi que sur la filière "forêt-bois".

Par contre, sont insuffisamment traitées des questions aussi importantes que :

- la dimension juridique des mécanismes de "flexibilité" (en particulier, des

marchés de permis d'émissions négociables) ;

- la quantification du potentiel "puits net de carbone" que représentent les forêts et les sols en France ;
- les impacts potentiels sur l'agriculture, le littoral et la santé publique ;
- la prévisibilité de l'évolution future des événements extrêmes générateurs de catastrophes (tempêtes, inondations, sécheresses,...).

Le 2<sup>ème</sup> appel à propositions GICC en préparation pour la fin de l'année 2000 mettra l'accent sur ces thèmes mal couverts.

*maurice.muller@environnement.gouv.fr*



### Les recherches sur l'évaluation et la prise en compte des risques (Programme EPR 2000)

La prévention des risques, la gestion de la post-crise et le retour d'expérience sont les objets d'étude principaux relevant du programme « Evaluation et prise en compte des risques » (EPR). Le second appel à propositions a reçu 40 réponses ; 12 réponses ont concerné les événements survenus en fin 1999. 11 propositions ont été sélectionnées. La plupart des réponses mobilisent plusieurs disciplines avec une dominante de la sociologie, de l'économie, du droit et de la géographie.

Tous les axes de l'appel sont couverts, notamment **l'appropriation des risques**, et dans une moindre mesure, **l'organisation de la décision**, et la **mesure des risques**.

Deux types de remarques peuvent être faites.

Malgré les événements récents, le nombre de projets reste faible : cela est-il dû à la spécificité du Programme qui demande des recherches alliant réflexion théorique et effort d'opérationnalité, avec une obligation de multidisciplinarité ?

Malgré les efforts des proposant, une réflexion reste à mener sur les moyens de mieux prendre en compte les besoins effectifs des acteurs opérationnels.

*genevieve.baumont@environnement.gouv.fr*