

# ANNALES DES MINES

FONDÉES EN 1794

RESPONSABILITÉ  
&  
ENVIRONNEMENT

ISSN : 1268-4783  
Série trimestrielle • n° 56 - octobre 2009

## Rédaction

Mineie, 120, rue de Bercy - Télédock 797,  
75572 Paris Cedex 12  
Tél : 01 53 18 52 68  
<http://www.annales.org>

## Pierre Couveinhes

Rédacteur en chef des *Annales des Mines*

## Gérard Comby

Secrétaire général de la série « Responsabilité & Environnement »

## Martine Huet

Assistante de la rédaction

## Marcel Charbonnier

Lecteur

## Membres du Comité d'orientation

### Philippe Saint Raymond

Président du comité d'orientation,  
Responsable éditorial  
Ministère de l'Économie, de l'Industrie et de  
l'Emploi, Conseil général de l'industrie, de l'énergie  
et des technologies

### Dominique Bernard

Afite, Président

### Paul-Henri Bourrelier

Ingénieur général des Mines, Association française  
pour la prévention des catastrophes naturelles

### Jacques Brégeon

Collège des hautes études de l'environnement  
et du développement durable, ECP, INA P-G,  
SCP-EAP

### Christian Brodhag

Délégué interministériel au développement durable

### Xavier Cuny

Professeur honoraire Cnam, Conseil supérieur  
de la prévention des risques professionnels

### William Dab

Cnam, Professeur

### Daniel Fixari

Ecole des Mines de Paris, Centre de gestion  
scientifique

### Odile Gauthier

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie du  
Développement durable et de la Mer, DPPR

### Christian Huglo

Avocat

### Vincent Jacques le Seigneur

Journaliste

### Vincent Laffèche

Ineris, Directeur général

### Jean-Luc Laurent

Laboratoire national de métrologie et d'essais,  
Directeur général

### Yves Le Bars

Cemagref

### Patrick Legrand

Inra, Directeur mission environnement société

### Benoît Lesaffre

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Conseil  
général du Gref

### Geneviève Massard-Guilbaud

Ecole des Hautes études en sciences sociales,  
Directrice d'Études

## Laurent Mermet

Engref

## Alain Morcheoine

Ademe, Directeur de l'air et des transports

## Pierre Frédéric Tenière-Buchot

Consultant environnement

## Gilbert Trolly

Administrateur de la chambre syndicale  
des industries minières

## Eric Vindimian

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie du  
Développement durable et de la Mer,  
Service de la recherche et de la prospective

## Membres du Comité de Rédaction

### Philippe Saint Raymond

Président du comité d'orientation,  
Responsable éditorial  
Ministère de l'Économie, de l'Industrie et de  
l'Emploi, Conseil général de l'industrie, de l'énergie  
et des technologies

### Pierre Amouyel

Ingénieur général des Mines

### Paul-Henri Bourrelier

Ingénieur général des Mines, Association française  
pour la prévention des catastrophes naturelles

### Odile Gauthier

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie du  
Développement durable et de la Mer, DPPR

### Rémi Guillet

Mineie, Conseil général de l'industrie, de l'énergie et  
des technologies

### Jean-Luc Laurent

Laboratoire national de métrologie et d'essais,  
Directeur général

### Gilbert Trolly

Administrateur de la chambre syndicale  
des industries minières

### Pierre Couveinhes

Rédacteur en chef des *Annales des Mines*

## Table des annonceurs

✓ Annales des Mines : 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> de couverture, pages 4, 6  
et 176

## Photo de couverture

✓ Bangladesh, 2007. Paysanne au bord de sa terre  
emportée par la crue. Déplacée vers une autre région,  
elle va rejoindre la masse des exilés climatiques.  
Photo © Abir Abdullah/EPA/CORBIS

## Abonnements et ventes <http://www.eska.fr>

Editions ESKA

12, rue du Quatre-Septembre, 75002 Paris

Serge Kebabtchieff : Directeur de la publication

Tél. : 01 42 86 55 73 - Fax : 01 42 60 45 35

Tarifs : voir bulletin encart vert (pages 177 et 178)

## Conception

Hervé Lauriot-Prévoist

## Iconographie

Christine de Coninck - CLAM !

## Publicité

J.-C. Michalon - ECC

2, rue Pierre de Ronsard 78200 Mantes-la-Jolie

Tél. : 01 30 33 93 57 - Fax : 01 30 33 93 58

Vente au numéro par correspondance et disponible dans les  
librairies suivantes : Guillaume - ROUEN ; Petit - LIMOGES ;  
Marque-page - LE CREUSOT ; Privat, Rive-gauche -  
PERPIGNAN ; Transparence Ginestet - ALBI ; Forum - RENNES ;  
Mollat, Italique - BORDEAUX.

# RESPONSABILITÉ

## SOMMAIRE

### L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

**5** ÉDITORIAL  
*Pierre COUVEINHES*

**7** AVANT-PROPOS  
*Paul-Henri BOURRELIÉ*

#### I - L'adaptation

**9**  
Considérations sur le climat  
*Emmanuel Le ROY LADURIE*

**14**  
Les représentations du changement climatique :  
de la création divine à la responsabilité de  
l'homme  
*René FAVIER*

**20**  
Les leçons de l'histoire géologique et des grandes  
extinctions d'espèces  
*Patrick De WEVER*

**25**  
Climat, adap-  
tation, évolu-  
tion et biodi-  
versité  
*Gilles ESCARGUEL*

**34**  
Les territoires  
face au chan-  
gement clima-  
tique  
*Martine TABEAUD*



© Jeremy Horner/PANOS-REA



© ROGER-VIOLLET

**41**  
Des événements naturels extrêmes aux figures de  
la catastrophe  
*Paul-Henri BOURRELIÉ et Jean DUNGLAS*

**48**  
Adapter qui à quoi ? Quelle place pour l'homme  
dans la nature ?  
*Michel JUFFÉ*

#### II - Politiques publiques et actions de tous

**53**  
La place de l'adaptation dans la politique clima-  
tique  
*Marc GILLET*

**59**  
La politique de la France en matière d'adaptation  
au changement climatique  
*Pascal DUPUIS*

**66**  
Cultivons notre planète : plus de biomasse, moins  
de gaz à effet de serre  
*François PAPY*

# & ENVIRONNEMENT

Octobre 2009 ◆ Numéro 56



© CTK/CAMERA PRESS/GAMMA EYEDEA

**95**

L'éthique, fil conducteur de l'adaptation  
Entretien de Paul-Henri BOURRELIER avec Alain GRIMFELD,  
Yves Le BARS et Claudine SCHMIDT-LAINÉ

\*\*\*\*\*

*In memoriam : François ASCHER  
(par Mme Marie-Josèphe CARRIEU-COSTA)*

---

## ÉNERGIE : FAITS ET CHIFFRES EN 2008

**72**

Penser et aménager les agglomérations urbaines :  
quelques exemples de métropoles européennes  
Brigitte MAZIÈRE

**80**

Pour une gestion dynamique du littoral  
Nicole LENÔTRE

**89**

La couverture financière des événements clima-  
tiques extrêmes  
Erwann MICHEL-KERJAN



© John Isaac/STILL PICTURES-BIOSPHOTO

**105**

Le bilan énergétique de la France pour 2008  
Bernard NANOT

**141**

La facture énergétique de la France en 2008  
Bernard NANOT

**150**

L'électricité en 2008  
Sylvie SCHERRER

**154**

Le gaz naturel en France : les principaux résultats  
en 2008  
Véronique PAQUEL

**159**

Les combustibles minéraux solides  
Sami LOUATI

**165**

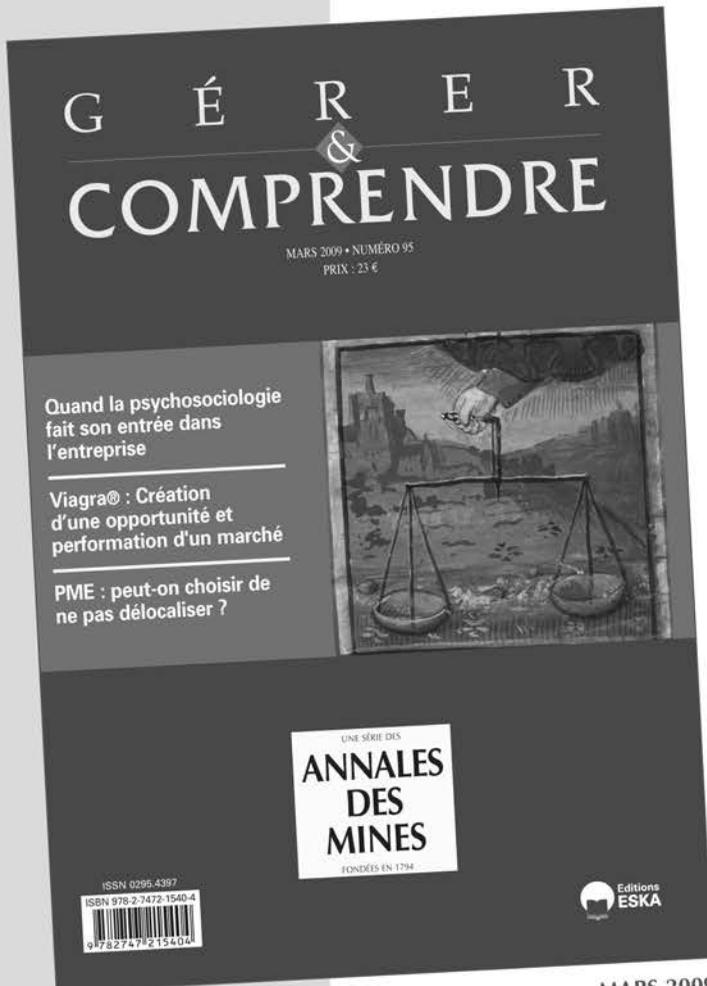
Les hydrocarbures  
Maurice GIRAULT

**171**

Les énergies renouvelables en France : les princi-  
paux résultats en 2008  
Hélène THIÉNARD

# G É R E R & C O M P R E N D R E

## SOMMAIRE



MARS 2009  
ISSN 0295.4397  
ISBN 978-2-7472-1540-4

- QUAND LA PSYCHO-SOCIOLOGIE FAIT SON ENTRÉE DANS L'ENTREPRISE  
Entretien avec Jean DUBOST, mené par Bernard COLASSE et Francis PAVÉ
- COMMENT FINANCER LES ACTIVITÉS D'INSPECTION ? LE CONTRÔLE DES INDUSTRIES À RISQUE MAJEUR EN GRANDE-BRETAGNE  
Par Jean-Pierre GALLAND
- FUSION TERMINÉE, FUSION INTERMINABLE ? LE CAS PEUGEOT-CITROËN  
Par Emmanuelle RIGAUD
- LE VIAGRA® : CRÉATION D'UNE OPPORTUNITÉ ET PERFORMANCE D'UN MARCHÉ  
Par Gilles MARION
- DU NORD AU SUD : PRUDENCE ET SENS DU JEU DANS LA GESTION DE PROJET  
Par Charles LILIN
- PME : PEUT-ON CHOISIR DE NE PAS DÉLOCALISER ?  
Par Martine BOUTARY et Didier HAVETTE
- COMPRENDRE ET GÉRER LE CONFLIT RELATIONNEL  
Par Michel PERRON
- Hervé DUMEZ  
LA THÉORIE DES MÉTA-ORGANISATIONS  
À propos du livre d'Ahrne GÖRAN & Brunsson NILS *Meta-organizations*. Cheltenham, UK, and Northampton MA, USA, Edward Elgar Publishing, 2008.
- Sébastien GAND  
LEÇON DE CONDUITE ACCOMPAGNÉE : HISTOIRE ET ACTUALITÉ DU GOUVERNEMENT DE SOI EN ENTREPRISE  
À propos de l'ouvrage collectif dirigé par Eric PEZET, *Management et conduite de soi : Enquête sur les ascèses de la performance*, Paris, Vuibert, 2007.
- Raymond-Alain THIETART  
STRATÉGIE D'ENTREPRISE  
À propos du livre de Thierry WEIL, *Stratégie d'entreprise*, Les Presses Mines ParisTech, 2008.
- Par Alain HENRY  
UN OBJET SOCIOLOGIQUE NOUVEAU  
À propos du livre de Philippe d'Iribarne, *Penser la diversité du monde*, Paris, Éd. du Seuil, 2008.

## BULLETIN DE COMMANDE

A retourner aux Éditions ESKA, 12, rue du Quatre-Septembre, 75002 PARIS

Tél. : 01 42 86 55 73 - Fax : 01 42 60 45 35 - <http://www.eska.fr>

Je désire recevoir ..... exemplaire(s) du numéro de **Gérer & Comprendre mars 2009 - numéro 95 (ISBN 978-2-7472-1540-4)** au prix unitaire de 23 € TTC.

Je joins  un chèque bancaire à l'ordre des Éditions ESKA

un virement postal aux Éditions ESKA CCP PARIS 1667-494-Z

Nom ..... Prénom .....

Adresse .....

Code postal ..... Ville .....

## Éditorial

*Le changement climatique est aujourd'hui un thème rebattu par les médias. Mais ce numéro de Responsabilité et environnement aborde ce sujet par un de ses aspects rarement traité : l'adaptation. Ce faisant, il soulève plusieurs questions inédites :*

- ✓ *Le changement climatique est souvent considéré comme une agression de l'homme contre une Nature réputée « bonne ». Mais l'homme, s'interroge Michel Juffé, ne fait-il pas partie de la Nature ? Peut-on vraiment le considérer comme un élément extérieur, qui serait, en quelque sorte, « confronté » à elle ?*
- ✓ *La perspective d'un changement climatique suscite, en général, les plus grandes craintes. Mais ne peut-on y voir comme un nouveau défi lancé à l'humanité – un défi qui lui permettra, en définitive, de progresser ? Emmanuel Le Roy Ladurie ne nous montre-t-il pas que l'homme a su faire face par le passé à des changements climatiques particulièrement sévères ?*

*L'adaptation dont il sera question dans ce numéro est celle qui consiste à réduire la vulnérabilité des systèmes naturels aux aléas découlant des modifications du climat. Ce concept a longtemps été considéré avec méfiance par les scientifiques, les ONG et certains responsables politiques des pays du « Nord » : ceux-ci craignaient, en effet, qu'il ne fût démobilisateur par rapport à l'autre moyen de lutter contre le changement climatique, l'atténuation, qui consiste à agir sur les causes anthropiques de ce changement, notamment en réduisant les émissions de gaz à effet de serre.*

*Mais la priorité donnée aux politiques d'atténuation fait aujourd'hui l'objet de vives critiques de la part des pays du « Sud », qui redoutent que ces politiques ne constituent un frein à leur développement et qu'on ne leur demande, en définitive, de contribuer à la lutte contre un phénomène dont ils ne sont guère responsables.*

*En tout état de cause, comme le souligne Marc Gillet, il semble maintenant acquis que « le réchauffement climatique est déjà amorcé [...] et qu'il s'amplifiera au cours des prochaines décennies ». Il convient désormais de s'y adapter, ainsi que le font, d'ores et déjà, de nombreux pays développés. Plusieurs articles de ce numéro décrivent les politiques qu'ils ont engagées à cet effet, notamment en ce qui concerne le littoral et les grandes agglomérations.*

*Mais qu'en est-il des pays du « Sud », déjà confrontés à de multiples difficultés (en matière de santé, d'éducation, de besoins alimentaires...), auxquels manquent les financements indispensables ? Qu'en est-il notamment de l'Afrique, qui sera, nous disent les experts, une des principales victimes du réchauffement climatique ?*

*Certes, remédier à ces problèmes n'est pas chose simple, car, si le changement climatique est un phénomène global, les politiques d'adaptation doivent être menées à des niveaux déconcentrés et elles exigent des financements sans commune mesure avec ceux que l'on consacre aujourd'hui, par exemple, à l'aide au développement.*

*Dans l'entretien qui conclut ce numéro, Paul-Henri Bourrelier relève que la plupart des articles qui le composent débouchent sur des questions éthiques. De fait, pouvons-nous, sans réagir, laisser les pays les plus pauvres, donc les plus vulnérables, subir les conséquences dramatiques d'un phénomène dont ils portent une part de responsabilité bien faible ? Est-il réellement acceptable qu'une partie de notre planète devienne inhospitalière à l'homme par suite de l'incapacité des nations à s'organiser collectivement et/ou à cause de l'égoïsme des pays les plus riches ? De par son caractère global, le changement climatique peut constituer l'opportunité, pour tous les habitants de cette planète, de prendre conscience de l'impérieuse nécessité d'être solidaires entre eux : formons le vœu qu'il puisse en être ainsi et que ce changement devienne le moteur d'une nouvelle étape dans le développement de l'humanité.*

*Pierre COUVEINHES*

# RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

recherches débats actions

## SOMMAIRE

### LA RESPONSABILITÉ ENVIRONNEMENTALE ET SOCIÉTALE DES ENTREPRISES

ÉDITORIAL – *PIERRE COUVEINHES*

AVANT-PROPOS – *XAVIER CUNY*

#### UN CADRE LÉGAL ET RÉGLEMENTAIRE EN PLEINE ÉVOLUTION

Responsabilité environnementale et sociétale : mieux vaut prévenir...  
qu'être responsable ? – *Philippe LEDENVIC*

Trouble de voisinage et responsabilité environnementale –  
*Gilles GODFRIN*

#### EXPERTISES

Combien valent les escargots, lorsqu'ils ne sont pas de Bourgogne ?  
La biodiversité : quelles valeurs ? Et pour quelles décisions ? –  
*Claire TUTENUIT et Camille STEHLIN*

Les pollueurs de nos cours d'eau et de nos milieux aquatiques sont-ils  
les payeurs ? – *André WULF et Patrick DALION*

Responsabilité environnementale et sociétale des entreprises inter-  
nationales de traitement et de valorisation des déchets –  
*Daniel BLAIN et Gérard FRIES*

#### POLITIQUE D'ENTREPRISE ET STRATEGIE ENVIRONNEMENTALE

Quels enjeux environnementaux, pour le Groupe Safran ? –  
*Régis BRIQUET et Bertrand FIOL*

L'approche environnementale du Commissariat à l'Energie  
Atomique – *Didier KIMMEL*

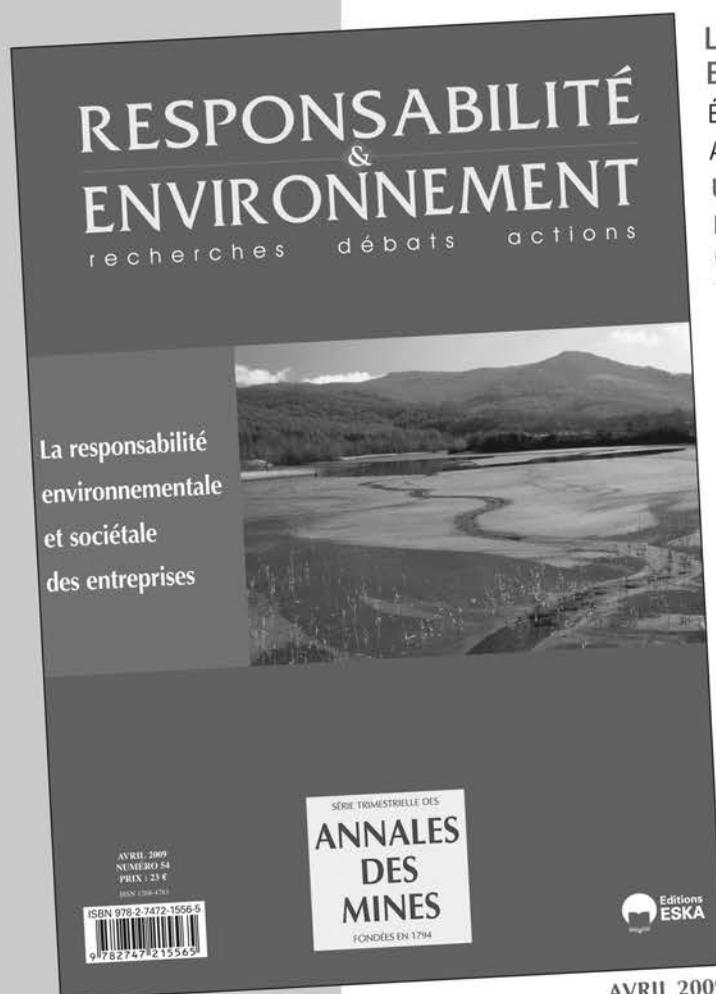
Contribution actuelle et objectifs du secteur des métaux en matière  
de responsabilité environnementale des entreprises –  
*Claire de LANGERON*

#### HORS THÈME

Problèmes posés par la définition de l'état de référence des sols  
en santé environnementale – *Côme DANIAU, Frédéric DOR,  
Sébastien DENYS, Adeline FLOCH-BARNEAUD et William DAB*

IN MEMORIAM : Georges-Yves KERVERN – *Paul-Henri BOURRELIER*

*Le dossier a été coordonné par Xavier CUNY*



AVRIL 2009  
ISSN 1268-4783  
ISBN 978-2-7472-1556-5

## BULLETIN DE COMMANDE

A retourner aux Éditions ESKA, 12, rue du Quatre-Septembre, 75002 PARIS

Tél. : 01 42 86 55 73 - Fax : 01 42 60 45 35 - <http://www.eska.fr>

Je désire recevoir ..... exemplaire(s) du numéro de Responsabilité & Environnement avril 2009 - numéro 54  
(ISBN 978-2-7472-1556-5) au prix unitaire de 23 € TTC.

Je joins  un chèque bancaire à l'ordre des Éditions ESKA

un virement postal aux Éditions ESKA CCP PARIS 1667-494-Z

Nom ..... Prénom .....

Adresse .....

Code postal ..... Ville .....

## Avant-propos

par Paul-Henri BOURRELIER

*Responsabilité et Environnement* a consacré au changement climatique (en juillet 2007) un premier numéro spécial, qui comportait deux sections : *Comprendre et prévoir*, présentant le phénomène de l'effet de serre et ses impacts (sur l'agriculture, les systèmes écologiques, le cycle hydrologique...) et *La nécessité d'agir*, traitant de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> (la « mitigation », dans la terminologie du GIEC, le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat). En outre, la revue a consacré au sujet quatre articles en « Hors dossier » depuis janvier 2007, tandis que les numéros sur *Les infections émergentes* (juillet 2008), *La ville durable* (octobre 2008) et *La forêt française* (janvier 2009) ont également abordé la question des effets du changement climatique. Le présent numéro, consacré à l'adaptation, revient sur ce phénomène climatique, dans ses rapports avec les écosystèmes et les sociétés, et il présente les données de la politique envisagée pour répondre à ses effets.

Le tableau ci-après indique les grands thèmes et les auteurs des articles des précédents numéros de *Responsabilité et Environnement* où la question du change-

ment climatique a été abordée (à l'exception de ceux publiés dans les numéros thématiques consacrés à la santé, à la ville et à la forêt).

Ce numéro débute par un regard jeté sur le passé : les deux premiers articles exposent l'histoire récente du climat et de sa perception, les deux suivants proposent une plongée dans les temps géologiques et fournissent des clés pour aborder la question de l'évolution de la biodiversité et de l'extinction des espèces. Les trois articles suivants traitent, respectivement, de la dimension territoriale du changement climatique, des menaces d'événements extrêmes et du sens fondamental à donner à l'adaptation.

La seconde partie, consacrée à la politique climatique, présente d'abord le processus des négociations internationales, qui a conduit à placer les actions d'adaptation sur le même plan que celles visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre, puis le programme français (qui relève désormais de la Direction générale de l'Energie et du Climat, coordonnatrice de l'ensemble des actions gouvernementales dans les domaines énergétique et climatique).

	Janvier 2007	Juillet 2007	Avril 2008 à Janvier 2009	Octobre 2009
<b>Observation, mécanisme et modélisation du climat</b>	Bourrelier	Petit, Planton, Dequé	Courtillot	Le Roy Ladurie, Favier
Cycle de l'eau		De Marsily		
Ecosystèmes, biodiversité		Décamps		De Wever Escarguel
<b>Politique de réduction des émissions</b>		Martin, Dron Philibert, Prévot		
Energies non carbonées		Barré, Guignard Gressier		
<b>Politique d'adaptation</b>				Dupuis, Gillet, Bourrelier & Dunglas
Position de l'homme			(n° relatif aux infections émergentes)	Juffé, Le Bars & Schmidt-Lainé
Vulnérabilité de territoires			(n° relatif aux villes durables)	Tabeaud, Lenôtre, Mazière
Politique agricole et forestière		Seguin	(n° relatif à la forêt)	Papy
Instruments financiers		Godard, Bouttes		Michel-Kerjan

La problématique concrète des actions d'adaptation est ensuite illustrée par quatre exemples relatifs à des enjeux majeurs : l'activité agricole, les grands centres urbains, le littoral et la couverture financière des grands risques climatiques.

L'ubiquité programmatique de l'adaptation est telle que, même en tenant compte des articles publiés précédemment dans la série *Responsabilité et Environnement*, nous ne pouvons prétendre à une couverture exhaustive des multiples impacts du changement climatique justifiant une analyse approfondie de leur déclenchement et la mise en œuvre, en temps voulu, de réponses appropriées. Citons seulement quelques problématiques particulièrement importantes, qui exigeront des décisions lourdes de conséquences :

- ✓ Les systèmes agricoles et alimentaires : de graves problèmes de pénuries d'eau en matière d'irrigation sont annoncés ; les investissements pour y faire face seront considérables et les conflits suscités par ces pénuries risquent de dégénérer dans les zones sujettes à des sécheresses d'ampleur et de fréquence accrues.
- ✓ Les zones littorales basses, estuaires et ports : les stratégies de défense contre les risques de submersion lors de tempêtes, marées et autres causes de surcotes devront être ajustées, afin de prendre en compte la variation du niveau de la mer. Il faut cependant se garder d'une image simpliste, car la dynamique est complexe : la hausse moyenne sera loin d'être uniforme, car elle dépend des configurations, de la subsidence, des apports alluvionnaires et des transports de matériaux, ainsi que des développements du vivant. La stratégie devra se conformer aux forces naturelles, restaurer des barrières telles que les mangroves, souvent malencontreusement abattues, faire le choix entre l'avancée et le recul, se monter flexible au fil du temps.
- ✓ Les systèmes urbains : les bulles thermiques qui se créent dans les grandes agglomérations doivent être prises en compte au même titre que les autres risques associés à la densification urbaine (même si l'on en attend, par ailleurs, une réduction des émissions de CO<sub>2</sub>).
- ✓ Les sols : ils seront sujets à des transformations pouvant affecter leur fertilité et accélérer des processus de désertification, dans les zones tropicales ; sur le territoire métropolitain, les risques de désordres dans les constructions, provoqués par des gonflements de couches d'argiles, en sous-sol, au cours des épisodes de sécheresse, doivent inciter à réaliser des fondations plus profondes.
- ✓ La biodiversité : sa préservation, grâce à l'instauration de zones protégées de dimensions et de formes appropriées,

est, à la fois, un facteur de robustesse et de résilience des écosystèmes et des laboratoires de l'évolution génétique.

- ✓ Les massifs montagneux, enfin, avec la nécessité de renforcer la sécurité des versants et de maîtriser l'évolution des activités touristiques dans ces zones.

Le climat, qui, par ses changements, est le moteur de la diversité opérant dans la multitude des niches écologiques, oblige aussi à penser et à agir globalement. Les politiques qu'il suscite s'intègrent parmi d'autres composantes de la dynamique de la société globalisée : tandis que la politique de « mitigation » est, en grande partie, commune avec celle visant à amortir les « chocs » sur les ressources rares - en premier lieu, sur les combustibles fossiles - la politique d'adaptation se conjugue avec les politiques relatives à la biodiversité, à l'eau et à la réduction des risques de catastrophes (DRR) (analysée dans l'article sur les événements extrêmes) ; les deux volets de la politique climatique interfèrent, à la fois, avec la gestion des grandes villes et avec la politique agricole et forestière.

Ces superpositions font que la plupart des actions publiques sont à double ou triple bénéfice. On peut, de ce fait, justifier économiquement (au moyen de calculs complexes incluant les discontinuités fractales des phénomènes et des marchés) des décisions devant être prises dans des perspectives de forte incertitude, ce qui est le cas des perspectives climatiques locales. Mais il est impossible d'isoler la politique climatique prise dans son ensemble, afin de tenter d'en évaluer la validité économique propre. La conclusion du rapport rendu au Premier ministre britannique par M. Nicholas Stern (en 2007) est, à cet égard, dépourvue de sens : en effet, si sa méthode d'évaluation était appliquée à d'autres politiques, elle les ferait toutes apparaître comme justifiées ! Cela n'est donc d'aucune aide pour déterminer le meilleur emploi possible de l'argent, qui est une ressource limitée... Le groupe interministériel constitué en France a, quant à lui, (sagement) renoncé à toute estimation globale.

A défaut d'une impossible synthèse économique, nous avons voulu placer au centre de ce numéro l'évolution adaptative, qui est une caractéristique universelle du vivant et des systèmes complexes qu'il constitue à diverses échelles, allant des écosystèmes aux sociétés humaines. Au terme de l'exploration à laquelle nous convions le lecteur, nous lui proposons un fil conducteur, à la fois conceptuel et concret : celui de l'éthique, sous-jacente à la quasi-totalité des articles rassemblés dans ce numéro. Celui-ci se conclut donc par un libre dialogue autour de ce chantier, le plus fondamental qui soit pour notre avenir.

## Considérations sur le climat

Emmanuel Le Roy Ladurie a publié trois importants volumes sur l'histoire du climat et, à l'instar de Montesquieu, sur les relations entre l'histoire et le climat : Histoire humaine et comparée du climat.

Tome 1, Canicules et glaciers XIII<sup>e</sup>-XVIII<sup>e</sup> ;

Tome 2, Disettes et révolutions (1740-1860) ;

Tome 3, Le Réchauffement de 1860 à nos jours.

Dans un article publié dans le numéro 126 de l'été 2009 de la revue *Commentaire*, il a présenté ces « Considérations sur le climat », qui concernent principalement le XX<sup>e</sup> siècle. Sans résumer sa trilogie, elles offrent une introduction à sa lecture. Nous remercions très vivement l'auteur et la revue *Commentaire* d'avoir accepté que nous reproduisions cet article dans ce numéro de *Responsabilités et Environnement*.

par Emmanuel LE ROY LADURIE

### De l'âge du bronze au premier millénaire

Partir de l'idée que nous vivons dans un climat stable depuis une dizaine de milliers d'années, mais que ce climat est sujet à des fluctuations : à l'échelle d'une génération (une trentaine d'années), ces fluctuations ne dépassent certainement pas, ou n'atteignent pas 1°C dans les moyennes multi-décennales. L'ordre de grandeur en serait plutôt d'un demi-degré centigrade ou moins ; c'est ce qu'on appelle une certaine stabilité. Les fluctuations multiséculaires nous sont néanmoins connues, elles sont restées longtemps, jusqu'au XX<sup>e</sup> siècle, dans cet ordre de grandeur ou peut-être un peu moins, elles nous sont connues pour l'Europe occidentale par l'évolution des grands glaciers alpins, notamment en Suisse avec l'énorme glacier d'Aletsch et quelques autres ; et puis Chamonix, en France. On obtient ainsi des alternances, de longues alternances, entre ce qu'on appelle un « petit optimum », ou des « petits optimums », on devrait dire « optima », phase de relative douceur climatique qui dure éventuellement un ou plusieurs siècles ; un optimum, c'est-à-dire une phase de plusieurs siècles de climat un peu plus chaud et éventuellement plus sec selon les régions, climat favorable en tout cas aux productions agricoles dans des pays comme la France ou l'Italie du Nord et du Centre.

Un premier optimum de ce genre se trouve aux environs de l'âge du bronze, entre 1500 et 1000 av. J.-C. (ne parlons pas du grand optimum de la préhistoire lointaine, quelques milliers d'années avant notre ère, mais c'est une autre question). Cet optimum de l'âge du bronze fut-il favorable aux paysans clairsemés qui vivaient à cette époque ? Difficile à dire. Puis un petit âge glaciaire (modéré) s'écoule de 900 à 400 av. J.-C., petit âge glaciaire ou PAG, autrement dit période plus fraîche avec avancée des glaciers alpins. Puis de 200 av. J.-C. à 200 apr. J.-C. environ, on dispose à nou-

veau d'un optimum : le petit optimum romain (POR) postérieur de plusieurs siècles au petit optimum du bronze (POB) ; le POR coïncide avec les plus beaux siècles de la république romaine et de l'Empire en sa prospérité, et l'on peut penser que, là aussi, ce beau temps assez répandu a pu favoriser l'agriculture, et l'économie républicaine puis impériale en général.

Un nouveau petit âge glaciaire s'étend entre 270 apr. J.-C. et 600 ; il coïncide avec la déchéance de l'Empire romain et les ruineuses invasions germaniques, et l'on peut simplement dire, ce qui ne va pas bien loin, que lui, ce nouveau PAG, n'a pas joué de rôle particulier dans cet affaiblissement et puis disparition de la puissance romaine, remplacée par les Barbares, en attendant les Mérovingiens.

### Du petit optimum médiéval au petit âge glaciaire

Beaucoup plus intéressant, de ce point de vue, est le petit optimum médiéval, qui court de 900 à 1300 apr. J.-C. La légère hausse calorifique à ces dates a-t-elle favorisé la poussée des grands défrichements et l'expansion agraire médiévale ? C'est assez vraisemblable, et cela jusqu'au moment de l'âge gothique, probablement inclus.

Nous arrivons enfin au PAG développé dans sa forme la plus classique, celle ou celui qui va de 1300 à 1860 (petit âge glaciaire). Lors d'une première phase, ce PAG concerne plus particulièrement le XIV<sup>e</sup> siècle, disons de 1303 à 1380. Forte poussée des glaciers suisses, notamment ceux d'Aletsch et de Gorner, Aletsch avançant par moments de quarante mètres par année, le tout étant indicatif d'hivers plus froids et souvent plus neigeux, et d'étés pourris néfastes aux céréales (le blé, citoyen du Moyen-Orient à l'origine, est amateur de beaux étés chauds à la Breughel



© ROGER-VIOLLET

« Les fluctuations multiséculaires [du climat] [...] nous sont connues pour l'Europe occidentale par l'évolution des grands glaciers alpins, notamment en Suisse avec l'énorme glacier d'Aletsch. » Le glacier d'Aletsch, Alpes suisses. Au fond, le massif de la Jungfrau.

(Les Moissonneurs), et l'été trop frais et trop pluvieux fait, lui, du tort. Ce sont ces étés trop frais et trop pluvieux qui ont découragé la fusion des glaces au XIV<sup>e</sup> siècle (avancée du glacier d'Aletsch, etc.) et qui ont noyé certaines moissons, dont celles de 1314-1315, engendrant ainsi l'une des pires famines du Moyen Âge.

Citons Baudelaire, tardif, mais involontairement topique à ce propos.

« Quand le ciel bas et lourd pèse comme un couvercle...

Et que de l'horizon embrassant tout le cercle  
Il nous verse un jour noir plus triste que les nuits ;  
Quand la terre est changée en un cachot humide,  
Où l'espérance, comme une chauve-souris  
S'en va battant les murs de son aile timide  
Et se cognant la tête à des plafonds pourris ;  
Quand la pluie étalant ses immenses traînées  
D'une vaste prison imite les barreaux...  
Des cloches tout à coup sautent avec furie  
Et lancent vers le ciel un affreux hurlement,  
Et de longs corbillards, sans tambours ni musique,  
Défilent lentement... l'Espoir,  
Vaincu, pleure, et l'Angoisse atroce, despotique,  
... Plante son drapeau noir. »

Selon les médiévistes, cette famine de la période 1314-1315 met fin à la belle époque d'expansion économique de l'âge gothique, en attendant les malheurs assez diffé-

rents dus à la peste noire de 1348 et aux guerres de Cent Ans.

Par la suite, le XV<sup>e</sup> siècle, le Quattrocento, ne retrouve pas ces mêmes froidures du XIV<sup>e</sup> siècle au même degré – si l'on peut dire –, on reste néanmoins dans le PAG qui va durer au total un peu plus de cinq siècles et demi, de 1300 à 1860.

### La déroute des glaciers

On pourrait faire ici une distinction : la fin du petit âge glaciaire alpin, la déroute des glaciers commence en 1860, et se poursuit jusqu'à nos jours sans désespérer. Au début de ce rétrécissement des glaciers alpins, c'était surtout le manque de neige hivernale et quelques bouffées d'air chaud (estival) qu'il fallait mettre en cause de 1860 à 1900 ; mais le début du vrai réchauffement – qui va durer, avec des hauts et des bas, jusqu'à nos jours –, ce vrai réchauffement ne commence qu'à partir de 1900-1910. Tréfonds du froid d'abord ou, du moins, du frais, dans les dix premières années du XX<sup>e</sup> siècle ; puis montée très marquée des températures sur la planète en général et en Europe occidentale tempérée, en France, en particulier, à partir de 1910 (date ronde), et jusqu'à nos jours, le tout en deux phases : une première phase de réchauffement depuis 1910-1930, jusqu'en 1950 ; ensuite un rafraîchissement de 1950 à 1970-1980 environ ; enfin un nouveau réchauffe-

ment, deuxième phase du réchauffement séculaire, très vif à partir des années 1980, on pourrait prendre comme repère la canicule-sécheresse de 1976, avec ensuite une nouvelle et forte rupture en direction du chaud jusqu'à 2008, à partir de 1988-1989-1990. Faut-il mettre en cause la chute du Mur de Berlin ? Soyons sérieux, bien sûr, mais on pourrait parler, de ce point de vue, d'une révolution de 1989, ou 1988-1989, révolution du chaud, pourquoi pas ? Rien à voir bien sûr avec Berlin.

### Les derniers froids

Démarrons lors d'un ultime plancher du froid, aux années 1887-1891 ; la famine russe de 1891 est liée effectivement à un hiver glacial. Ensuite les années 1901-1910 marquent un raisonnable plancher de la fraîcheur, en attendant le réchauffement séculaire qui va s'ensuivre.

La décennie 1900-1910 est fraîche, mais connotée quand même par la notion de variabilité, qu'il ne faut pas perdre de vue quand on parle de réchauffement ou de rafraîchissement.

Donc, la décennie 1901-1910, fraîche encore, mais variable, disais-je. On y trouve en particulier un hiver très froid, celui de 1907 (1906-1907). Toujours la variabilité : lors de cette décennie encore assez rafraîchie, on a tout de même de très beaux étés, notamment ceux de 1904, 1905 et 1906, avec des mortalités de canicule, surtout les enfants, dysenteries, toxicoses liées à la chaleur. Ainsi 13 000 morts supplémentaires de canicule en 1904, sur le territoire français ; et tout de même 14 600 en 1906. Ces chiffres dus à Daniel Rousseau sont solides.

### Variations agricoles

D'autre part, les trois étés 1904, 1905, 1906 (chauds) excitent la vigne, avec trois années de grosses productions viticoles qui sont à l'origine de l'écroulement des prix du vin, et de la révolte des vigneron du Midi de 1907, bien connue, sous la direction de Marcelin Albert. On notera également les inondations parisiennes de janvier 1910, avec une année 1910 extrêmement pluvieuse, destructrice de ce fait des récoltes de blé et qui aurait pu donner une famine, comme au temps de Louis XIV, mais les importations de céréales en provenance des États-Unis et de Russie sauvent évidemment, sans difficulté, la situation. C'est à peine si le prix du blé augmente malgré ce gros déficit des moissons. La décennie 1911-1920, la deuxième du siècle, marque une première progression des moyennes décennales annuelles des 22 stations d'observation de l'Hexagone, soit 2 dixièmes de degré en plus : on passe de 11,4 à 11,6 degrés de moyenne annuelle nationale ; c'est peu, dira-t-on, mais c'est une tendance qui va se confirmer jusqu'au milieu du XX<sup>e</sup> siècle. Dans cet esprit, la canicule de 1911, surtout sensible en juillet, en août et en septembre, fait 40 000 victimes, essentiellement des enfants, grosse différence d'avec 2003, où ce seront les personnes âgées au nombre de 17 000 qui seront affectées par cette mortalité de masse, 40 000 victimes en 1910, et, faible consolation, l'été très chaud, très sec a

donné un vin d'excellente qualité. Ajoutons que ce phénomène mortalitaire est européen. Ouest européen, en tout cas.

La Première Guerre mondiale (14-18) recrée momentanément les conditions d'un impact (antisubsistances) du climat, telles qu'elles avaient régné jadis sous l'Ancien Régime économique, avant 1860 ; en 14-18 : manque d'engrais, de machines et de main-d'œuvre, elle-même mobilisée. Dans ces conditions, le rude hiver de 1916-1917, même compte tenu d'un adoucissement assez général des hivers depuis 1900 en raison du réchauffement climatique du XX<sup>e</sup> siècle, ce rude hiver agresse les récoltes, spécialement celles d'Allemagne, et crée ainsi les conditions d'une disette dans les empires centraux, connue sous le nom d'hiver des rutabagas. Ce sera du reste l'une des causes politique plus que climatique de la révolution allemande de 1918. Graves restrictions alimentaires.

### La décennie 1921-1930

Nous arrivons maintenant à la décennie 1921-1930. Le réchauffement continu pour les 22 stations de l'Hexagone, bien réparti sur cet espace français. On était à 11,4°C de moyenne annuelle en 1901-1910 ; 11,6°C en 1911-1920 ; 11,8°C en 1921-1930. On progresse donc de 0,2°C par décennie. C'est régulier.

Ce réchauffement 1921-30 est symbolisé en particulier par la canicule sèche certes de 1921, pour l'été. Vin excellent millésime vinique 1921 qui aime l'été chaud, grosse moisson, dans une grande partie de l'Europe ; simplement la sécheresse a agressé les fourrages et fait un peu de tort à l'élevage. Avec, en outre, une grosse mortalité de canicule : 11 000 morts en 1921, moins qu'en 1911, on en avait eu 40 000, mais enfin c'est assez considérable ; on se situe dans les records des mortalités de canicule, pratiquement jusqu'en 2003. Soit : 1906 : 14 000 morts ; 1904, 13 000 et 1911, 40 000 ; 1921 : 11 000. Ajoutons, hasard ou logique climatique, que 1921 est aussi année de canicule et de sécheresse aux États-Unis.

Autres canicules typiques de ces années 21-30 déjà quelque peu réchauffées, ce sont les canicules de 1928 et 1929 ; très belles moissons, vins de grande qualité qui aiment ces étés chauds et secs, mais aussi grosses vendanges qui font s'écrouler les prix du vin méridional et hurler les malheureux viticulteurs. En plus, il y a les mortalités corrélatives : 5 400 morts supplémentaires avec la canicule de 1928 ; 4 400 idem pour celle de 1929 ; et puis, surtout, en 1929, il y eut, avant l'été, avant cette canicule, l'hiver de 28-29, un grand hiver, qui laissa derrière lui 50 000 morts supplémentaires.

### La guerre

La décennie 1931-1940, est signalée par un infime rafraîchissement des moyennes annuelles, moins 0,1°C (moins un dixième). Dès lors, nous arrivons à la décennie la plus réchauffée du premier XX<sup>e</sup> siècle, celle de 1941-1950, à 12°C de moyenne annuelle, contre 11,4°C au début du

siècle, on a donc gagné en un demi-siècle 6 dixièmes de degré, ce qui n'est pas négligeable. La décennie 1941-1950 commence « mal », avec trois grands hivers, à la queue leu leu, 1940, 1941, 1942 ; ils aggravent bien sûr considérablement les difficultés du ravitaillement, déjà largement obéré par les réquisitions de nourriture qu'opèrent les Allemands sur notre territoire. L'hiver 41-42 en particulier, extraordinairement rude depuis Moscou jusqu'aux Pyrénées, a contribué à la défaite des armées hitlériennes, celles-ci très mal équipées contre le froid, face aux troupes russes du général Joukov, lui-même fortement aidé en l'occurrence par le général Hiver. Par la suite, le réchauffement du quasisiècle, celui des années quarante, si vous voulez, se fait sentir avec force avec de chauds étés tous les deux ans, en 1943, 1945, 1947 et 1949. L'an 1943 bien réchauffé soulage un peu les populations par de meilleures récoltes lors d'une année terrible par ailleurs : Shoah, etc.

1945, avec un vin magnifique, le Mouton Rothschild 45, même pas besoin de phytosanitaire, ce vin est délicieux, du fait des belles chaleurs estivales qu'il a reçues.

1947, avec tout de même un grand hiver et un très bel été, donc finalement une assez mauvaise récolte et une crise alimentaire qui contribue à la dureté des grèves de 1947...

Et enfin, 1949, avec les fameux incendies des Landes de l'été, et pour cause, étant donné la canicule de cette saison.

### De 1951 aux années 80 : rafraîchissement

De 1951 à 1970, et même en France jusque vers 1980, on assiste à une phase bidécennale, voire tridécennale de rafraîchissement. Faut-il incriminer les aérosols, les poussières, dégagés par l'industrialisation massive des Trente Glorieuses, qui diminuent légèrement le rayonnement solaire et favorisent un certain refroidissement ? Quoi qu'il en soit, le fait même de ce rafraîchissement est là, et on le retrouve à l'échelle de l'hémisphère Nord, et peut-on dire même de la planète. Ce rafraîchissement est manifeste dès la décennie 1951-1960, et on peut l'« exemplifier », par le grand hiver de février 1956 tuant les oliviers et laissant derrière lui une traînée de 8 000 morts supplémentaires.

De même, la décennie suivante, la décennie rafraîchie 1961-1970 est signalée par le très grand hiver 1962-1963, quatre mois de très basse température moyenne avec 30 000 morts additionnels.

### Le réchauffement

A partir de 1981, on peut même dire à partir de 1975-1976, le réchauffement est reparti de plus belle ; les industriels ont-ils dépollué les aérosols issus de leurs usines ? Ou bien tout simplement la croissance économique mondiale est telle que plus rien ne résiste à l'invasion du CO<sub>2</sub>, et que le réchauffement devient effectivement irrésistible ? On note en tout cas une prise de température beaucoup plus nette que dans la première phase du XX<sup>e</sup> siècle, puisqu'on passe de 11,7°C des moyennes françaises des 22 stations dans les années 1971-1980, c'est un recul par rapport aux

12,0°C des années 1941-1950 ; on passe de 11,7°C (1971-80) à 12,2°C dans les années 1981-1990 ; et puis à 12,7°C pour 1991-2000, la décennie la plus chaude du XX<sup>e</sup> siècle ; on gagne donc un degré en trente ans, et pour ce qu'on sait de la décennie 2001-2007, on serait maintenant à 13,0°C de moyenne annuelle, c'est-à-dire qu'en quarante ans, on aurait gagné plus d'un degré en moyenne annuelle française ; un rythme d'accroissement nettement plus rapide que dans la première phase du réchauffement, lors de la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle.

Les faits les plus marquants au cours de la décennie 1971-1980, tout à fait à la fin de la période de rafraîchissement, c'est la grande sécheresse de 1976, avec des vins merveilleux, certes, notamment les vins allemands du Rhin et de Moselle, millésime 76, mais tout de même une assez forte mortalité.

La décennie 1981-1990 jouit, elle, d'un réchauffement global déjà d'un demi-degré et surtout un démarrage de la chaleur des automnes, les autres saisons se réchauffent mais moins nettement, mais les automnes prennent de l'avance, se réchauffent beaucoup, d'où des vendanges très « qualitatives », puisque celles-ci se font en automne ; et des bordeaux tout à fait « d'élite », qu'a célébrés Robert Parker, le grand spécialiste des vins bordelais.

### Trois années extraordinaires : 1988-1989-1990

La décennie 1990, j'ai dit, la plus chaude du XX<sup>e</sup> siècle à 12,7°C de moyenne ; elle est introduite surtout par ce qu'on peut appeler la révolution de 1988-1989-1990, après laquelle rien n'est plus comme avant ; les températures accrues vont rester en place ; et l'on a eu ce qu'on va appeler, pour les vins de Bordeaux, « l'inoubliable tiercé », 1988-89-90, trois millésimes successifs d'une belle qualité en ces trois années de saisons, tièdes, chaudes ; et donc, à partir de la décennie 1990, ce ne sont plus seulement les automnes, c'est l'ensemble des quatre saisons qui se réchauffe. Ensuite, passé l'an 2000, le réchauffement continue ; on arrive, dans les années 2001-2007, à 13°C de moyennes annuelles pour l'Hexagone, avec les grands événements signalétiques qu'on connaît bien, la canicule de 2003 (17 000 morts !) ; la canicule de juillet 2006, qui provoque aussi quelques milliers de décès en plus ; et puis les chaudes saisons en Europe de l'automne 2006, de l'hiver 2006-2007, du printemps et spécialement du mois d'avril 2007, qui sont à elles seules une espèce de canicule hivernale et printanière (Pascal Yiou). À signaler, la superbe année, dans toute la France viticole, des vins du millésime 2005 ; une année glorieuse pour la viticulture française et européenne, avec un temps régulièrement beau et chaud, et des précipitations parfaitement adaptées, un véritable triomphe de l'œnologie, mais fortement encouragée, de l'Alsace au Bordelais, par un climat très favorable... et tiède.

On me demandera peut-être pour conclure : que pensez-vous des polémiques sur le CO<sub>2</sub> ? Je vous répondrai que je ne suis pas un scientifique à part entière, je ne suis qu'un historien, néanmoins je suis assez convaincu, je dois dire, par la démonstration du Groupe d'experts Intergouverne-

mental sur l'Evolution du Climat (GIEC) sur les dangers, quand même, du réchauffement excessif qui pèsera sur l'humanité au XXI<sup>e</sup> siècle en raison de l'excès des émissions de gaz à effet de serre : CO<sub>2</sub>, méthane, etc.

Mais mieux vaut jeter un regard nostalgique sur le passé récent, sur les années 1990-2000. Dira-t-on que jamais l'Europe n'a été aussi heureuse que lors des millésimes 1988-2001, Balkans exceptés ? Mettons à part en effet les guerres fratricides qui se sont déroulées dans l'ex-Yougoslavie. Le reste : la chute du communisme exorcisait la crainte du danger de guerre mondiale, qui aura longtemps pesé sur nos pays du fait de la division Est-Ouest, désormais défunte. Quant aux températures, elles étaient tièdes sans être brûlantes. C'était vraiment l'optimum, certes momentanément. Les printemps, les étés, les automnes aussi étaient de type toscan, alcyonien ; les hivers plus doux que jamais, par rapport aux neuf décennies antérieures de ce qui pour nous, désormais, s'appelle le « siècle précédent ». Les vins, sans avoir l'exquise qualité de leurs prédécesseurs

des années 1980, n'en étaient pas moins, à maintes reprises très généreux et d'excellent niveau, principalement à partir de 1995. La Bourse allait grand train au bénéfice, à tout le moins, de ceux qui pouvaient jouir de ses bienfaits. Il faudra, dans des ordres d'idées très différents, le coup de gong sanglant du 11 septembre 2001 et la canicule tueuse de 2003, pour que nos concitoyens d'Europe sortent enfin de cette espèce de délicieuse torpeur fin de siècle qu'alliaient quelque peu démentir à bref délai, dès 2001-2003, terrorisme et canicule, aux commencements du nouveau millénaire. Disons-nous, paraphrasant Talleyrand, que ceux qui n'ont point vécu existentiellement la délicieuse décennie 1990, que ceux-là n'ont pas vraiment connu la douceur de vivre ? Ni l'état de grâce...

### Note

\* Historien, membre de l'Académie des Sciences morales et politiques de l'Institut de France.

## Les représentations du changement climatique : de la création divine à la responsabilité de l'homme

**Le climat change-t-il (1) ? L'action de l'homme affecte-t-elle ce changement ? Poser de telles questions aujourd'hui relève presque du sacrilège. Certes, il y a peu, *Courrier International* proposait ce titre, en couverture d'un de ses numéros : « Climat : Le réchauffement n'existe pas » (2). Mais ce titre était prudemment affecté d'un astérisque renvoyant à un sous-titre de bas de page prudent et politiquement correct : « Du moins, certains le croient ».**

par René FAVIER\*

Cette revue reprenait un certain nombre d'articles de la presse internationale, tirés, en particulier, de *Newsweek*, du *Wall Street Journal* ou du *Washington Post*, lesquels relevaient que 1934 avait été l'année la plus chaude du 20<sup>e</sup> siècle ou que la Nasa avait multiplié les erreurs de prévision en matière de climat (et que ces erreurs avaient été soigneusement occultées). Un article d'Istoé (de São Paulo) dénonçait, quant à lui, le discours écologique, dans lequel il décelait une forme de « néocolonialisme ». De manière générale, les articles retenus dénonçaient un certain catastrophisme ambiant : « A trop vouloir opposer les bons et les méchants, il arrive qu'on simplifie à l'extrême une affaire compliquée », concluait ainsi un article du *Washington Post*.

### D'aujourd'hui à hier

De fait, si la question du changement climatique est aujourd'hui omniprésente, au point de devenir parfois une sorte de « prêt à penser » médiatique ou politique excluant toute autre forme d'interrogation quant à l'origine des catastrophes naturelles, son émergence sur la scène scientifique n'est que très récente. Encore en 1959, le mensuel *Sciences et Vie* alertait ses lecteurs des risques du refroidissement climatique et de l'avancée des glaciers. En 1973, dans la bande dessinée *SOS Météores*, Edward P. Jacobs prenait lui aussi pour thème la menace destructrice d'un grand froid (non sans relation avec les menaces nucléaires, il est vrai).

Pourtant, dès les années Soixante-dix, des interrogations avaient germé. En 1972, se tenait la première Conférence de l'ONU sur l'environnement. La même année, le rapport Meadows, remis au Club de Rome, s'interrogeait sur les limites de la croissance (*The Limits of Growth*). En revanche, en 1979, la Conférence mondiale sur le climat ne trouva encore que très peu d'écho dans la presse et le grand public.

Le début des années 1980 marqua un tournant décisif dans le changement de perspectives : c'est à cette époque que les acteurs publics commencèrent à se saisir des alertes lancées par les scientifiques. Ainsi, en 1983, était remis au président Reagan le rapport commandé un peu plus tôt par son prédécesseur Jimmy Carter. L'été très chaud de 1983 et la percée électorale des Verts, en Allemagne, alertèrent l'opinion européenne. En 1984, à l'initiative de Pierre Lafitte, était organisée à l'Ecole des Mines de Paris la Première rencontre internationale sur l'évolution du climat planétaire. Dans les années qui suivirent, à l'initiative de Michel Rocard, un groupe d'intellectuels fut invité à réfléchir, autour du sociologue Edgar Morin, sur les questions du développement durable et du changement climatique. Les interrogations débouchèrent, à la fin de la décennie, sur la création, en 1988, du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), puis sur la tenue, en 1989, de la Conférence de La Haye sur les questions climatiques.

Parallèlement, le débat faisait son entrée sur la scène des médias grand public. En 1984, la revue *Géo* titrait en couverture : « Danger : La terre se réchauffe », et proposait un long article intitulé : « La planète des hommes brûle-t-elle ? » (3). Mais le point d'interrogation à la fin du titre de cet article n'était pas qu'un simple artifice rhétorique. L'article concluait, en effet : « En définitive, rien ne prouve que le climat de la planète soit affecté aujourd'hui par autre chose que des fluctuations naturelles, qui ne sont peut-être que les lointains contrecoups de la dernière déglaciation, des oscillations autour d'un nouveau point d'équilibre. Si nous éprouvons quelque difficulté à le percevoir ainsi, c'est simplement parce que, au regard des temps géologiques, la vie humaine est décidément trop courte ». Néanmoins, l'auteur ajoutait : « Si nous sommes un peu rassurés sur les températures actuelles, l'inquiétude demeure en ce qui

concerne l'augmentation de la teneur en gaz carbonique de l'atmosphère, confirmée par des mesures régulières loin des grandes villes et des concentrations industrielles». Quatre ans plus tard, *Newsweek* était nettement plus alarmiste : « Effet de serre, danger : plus d'étés très chauds en vue ».

Ces interrogations sont-elles nouvelles ? En remontant le temps, il convient de s'interroger sur le fait de savoir si, dans les siècles passés, les sociétés anciennes ont eu conscience de vivre des périodes où le climat « changeait ». En des temps où l'essentiel des ressources et de la richesse provenait de la terre, une telle attention aux événements climatiques était naturelle. C'est d'ailleurs en relation avec les travaux des champs que la plupart des mentions d'un tel changement peuvent être relevées. Ces observations innombrables nourrissaient une connaissance empirique des phénomènes atmosphériques, concentrée souvent sous la forme de dictons, de sentences et de proverbes, pour tenter de prévoir le temps et d'organiser les labours, les semailles et les moissons de la manière la plus efficace possible (4).

Ce cycle de la nature, dont le savoir populaire pouvait comprendre les rythmes, était cependant périodiquement déréglé par des accidents – pluies torrentielles, grands froids, sécheresses, tempêtes – dont les témoins affirmaient le caractère exceptionnel, inconnu « de mémoire d'homme ». On ne saurait se laisser abuser par cette affirmation d'exceptionnalité. Celle-ci renvoyait bien souvent à la nécessité de convaincre les lecteurs (ou les autorités dont on souhaitait obtenir des aides matérielles) par le caractère apologétique du récit. Mais ces accidents venaient rompre les équilibres ordinaires et constituaient bien des « intempéries », au sens que donnait à ce mot le *Dictionnaire de Trévoux* (au 18<sup>e</sup> siècle), celui d'un « dérèglement » que l'on peinait à expliquer autrement que dans des perspectives anthropocentriques : Dieu intervenait dans le cours des choses pour punir les hommes ou leur donner un avertissement. En atteste, dans l'imaginaire populaire, cette idée que les hautes montagnes, d'où les hommes étaient absents, ignoraient les tempêtes !

Les bouleversements climatiques qui affectèrent les 17<sup>e</sup> et 18<sup>e</sup> siècles (minimum de Maunder, sur la période 1645-1715, réchauffement du début du 18<sup>e</sup> siècle, crise des années 1740...) (5) interpellèrent parfois les esprits les plus critiques. Au lendemain de l'ouragan de 1701, le duc de Saint-Simon observait ainsi : « Cet ouragan a été l'époque du changement des saisons et de la fréquence des grands vents ; le froid en tout temps, la pluie ont été bien plus ordinaires depuis, et ces mauvais temps n'ont fait qu'augmenter jusqu'à présent, en sorte qu'il y a longtemps qu'il n'y a plus du tout de printemps, peu d'automne, et, pour l'été, quelques jours, par-ci, par-là ; c'est de quoi exercer les astronomes » (6). Si les propos du duc reprenaient pour partie le discours populaire sur le dérèglement des saisons, ils faisaient aussi écho aux nouvelles préoccupations des savants, qui, depuis Descartes, commençaient à chercher des explications scientifiques aux phénomènes météorologiques. On ne saurait dire, cependant, que ces savants aient cherché alors à répondre aux interrogations formulées par Saint-Simon, ni qu'ils se

soient préoccupés prioritairement des « intempéries ». Pour eux, penser le climat consistait, avant toute chose, à en comprendre les règles.

### Trouver les règles du climat

L'histoire de la météorologie est indissociable de la naissance du mouvement scientifique moderne. Tant à l'Accademia del Cimento de Florence qu'à la Royal Society de Londres et à l'Académie des Sciences de Paris, les hommes de science multiplièrent très tôt des observations et s'attachèrent au développement de l'instrumentation, ainsi qu'à l'élaboration des lois physiques sur la compression de l'air ou le rayonnement solaire. Au cours du 18<sup>e</sup> siècle, ces travaux aboutirent notamment au célèbre *Traité de météorologie* du Père Louis Cotte, publié en 1774 (7).

Ces recherches, qui visaient d'abord à éclairer les mécanismes régulateurs du système climatique, participaient des travaux menés par la physique des Lumières pour comprendre les règles de la Nature telle que Dieu l'avait créée. Dès 1663, l'anglais Robert Hooke avait proposé de « faire l'histoire du temps ». En France, pour répondre aux exigences de Colbert et de Louvois en matière d'approvisionnement des fontaines de Versailles, les premières observations portèrent sur la pluviosité et nourrirent très tôt les *Mémoires* de l'Académie des Sciences. Ces recherches passaient par l'utilisation d'une instrumentation de plus en plus précise et homogène, ainsi que par une multitude de relevés aussi fastidieux que nécessaires. Outre les relevés faits pour l'Observatoire de Paris, l'entreprise la plus exceptionnelle est sans conteste celle du médecin parisien Louis Morin, dont la somme des observations (de 1665 à 1713) constitue la première série météorologique connue en France (et même au monde) à porter sur une période aussi longue. « Toute l'histoire de l'air depuis trente-trois ans est contenue dans le Journal de M. Morin, jusqu'aux moindres particularités », concluait Le Hire, lors de la présentation de son Journal à l'Académie, en 1701 (8).

Ces observations ne doivent cependant en aucun cas être interprétées comme des tentatives de comprendre un quelconque « changement climatique ». Le mot « climat », au demeurant, avait alors un sens tout différent de celui qu'on lui donne aujourd'hui. Pour tous les dictionnaires du 18<sup>e</sup> siècle, il désignait un espace géographique, un « Espace de terre entre deux parallèles » (Richelet). C'est en ce sens qu'il est utilisé dans les mémoires de l'Académie des Sciences : « Le mot de climat proprement dit et conçu à la manière des Géographes est une partie, une petite zone du globe terrestre, comprise entre deux cercles parallèles de l'Equateur ». Etudier le climat revenait, ainsi, à examiner les phénomènes météorologiques et à en préciser les règles, dans un espace géographique parfaitement délimité spatialement. La constitution de réseaux d'observateurs répondait au désir d'observer les variations « des climats », c'est-à-dire des régimes propres aux différentes régions et aux différents pays, et d'essayer de leur trouver une explication scientifique. Dès la fin du 17<sup>e</sup> siècle, telles avaient été, par exemple, les premières conclusions de Sédilleau, qui com-

paraît ses chiffres sur la pluviosité parisienne avec ceux, inférieurs, relevés par Mariotte à Dijon, « ce qui montre qu'alors les saisons furent moins pluvieuses, ou que le Pays des environs de Dijon est plus sec, car on sçait qu'il y a des Pays où il pleut beaucoup plus qu'en d'autres, et qu'il y en a où il ne pleut que rarement, et même point du tout » (9). Comparant ses observations avec celles du Zurichois Scheutzer, Le Hire notait, en 1710 : « On connoît par la comparaison de ces observations qu'il pleut beaucoup plus en Suisse qu'à Paris. J'avois déjà remarqué par les observations de la pluie faites sur Lyon qu'il pleuvoit bien plus qu'à Paris, et j'en avois attribué la cause aux montagnes de la Suisse qui n'en sont pas fort éloignées ; et c'est ce qui se trouve confirmé par ces dernières observations ».

L'hypothèse formulées explicitement par les Académiciens était celle de la stationnarité des climats, dont il convenait de connaître les règles grâce à la comparaison des différentes observations annuelles : « On ne peut savoir que par une longue suite d'observations si, dans un même lieu, il tombe toujours la même quantité de pluie ou, en cas que cette quantité soit inégale, dans quelles bornes l'inégalité est renfermée, quelles sont aussi les limites des inégalités du chaud et du froid, quels effets peuvent produire leurs plus grands excès, si l'un suit ordinairement l'autre, etc. » (Le Hire). Trouver ces règles, répondre au discours commun sur le dérèglement des saisons, tels étaient les objectifs qu'il se fixait, en 1714, lorsqu'il proposait, par la multiplication des observations, de « détromper ceux qui s'imaginent toujours qu'il y a des dérangements extraordinaires dans les Saisons, ayant perdu la mémoire du temps passé et ne faisant attention qu'à ce qui les touche dans le temps présent » (10). « Si nous avions des observations météorologiques de plusieurs siècles dans un même pays », expliquait Duhamel en 1743, « il y a tout lieu de croire que la somme totale des pluies tombées dans ce pays pendant un siècle ne différeroit pas sensiblement de celle d'un autre siècle, ou que s'il s'y trouveroit des différences marquées, un nombre de siècles plus grand encore en dévoileroit la marche et les compensations. Car enfin, les pièces de la machine de notre globe et son atmosphère ne sont pas infinies, leurs révolutions doivent nous redonner à peu près les mêmes effets, ou nous indiquer la cause de la variation et de dépérissement qui en trouble les retours (11). »

L'objectif des observations se résumait, en quelque sorte, à l'établissement de moyennes. « Il est clair que plus le nombre d'années sera grand, plus la moyenne adoptée approchera du vrai », ajoutait Duhamel. En 1692, Sédilleau établissait ainsi à 19 pouces la première moyenne de la « quantité d'eau tombée à Paris ». Cette moyenne fut l'objet de plusieurs révisions, que Duhamel résumait ainsi, en 1743 : « La quantité moyenne d'eau qui tombe tous les ans à l'Observatoire, ou à Paris, car on les confond ordinairement, fut d'abord établie d'environ 19 pouces sur la comparaison des dix premières années ; mais en 1708 ou 1709, c'est-à-dire vingt ans après le commencement des observations, cette moyenne devoit se réduire à environ 18 pouces 8 lignes. En 1718 révolu, elle étoit encore à peu près la même, mais en 1728, ou après 40 ans, elle se réduisit à 17

pouces 3 lignes ; et enfin, 50 ou 55 ans après la première année, ce qui nous conduit jusqu'en 1743, cette quantité moyenne, déduite de la somme totale, n'est plus que d'environ 16 pouces 8 lignes. Nous tirons ce calcul d'une note que M. Maraldi nous a communiquée, à ce sujet. » Ainsi, les années exceptionnelles n'étaient pas interprétées comme le signe d'un dérèglement ou l'annonce d'un changement possible : elles ne faisaient que témoigner d'une connaissance insuffisante de lois, que l'on cherchait encore à définir.

Naturellement, les observateurs peinaient à expliquer les « intempéries ». Certains envisageaient des équilibres possibles entre les « climats », et d'autres, une variation du rayonnement solaire. Mais en définitive, tous les changements n'apparaissaient « bizarres » que « faute d'observateurs qui s'y soient assez longtemps et assez soigneusement appliqués pour y découvrir la régularité ».

Les interrogations sur les grands changements que la terre avait pu connaître dans les siècles ou les millénaires passés ne constituaient pas davantage le ferment d'une interrogation sur de possibles « changements climatiques », même si, dans la seconde moitié du 18<sup>e</sup> siècle, *L'Histoire naturelle* de Buffon commença à interpellier les observateurs : « Il est visible que la Terre a souffert autrefois des changemens considérables, des déluges, des incendies et d'affreux bouleversemens », écrivait Duhamel en 1765. « Arrêtons-nous à l'état présent où nous voyons notre globe depuis quelques milliers d'années. Il ne change que lentement, insensiblement et de proche en proche, mais toujours... ; tout n'a que des instans, mais les sommes, quoiqu'infinies, de ces instans nous donnent des périodes finies et sensibles ».

Mais, pour les meilleurs observateurs des Alpes, l'avancée vertigineuse des glaciers ne constituait nullement le signe d'un refroidissement climatique. Pour Louis Ramond de Carbonnières, elle n'était que la conséquence d'une accumulation de glaces dans les hautes altitudes (12) : « Je ne dirai point que leur accroissement tient au refroidissement du globe... Dans la haute région..., il y a peu de saisons différentes, peu de circonstances, peu d'accidens ; les loix sont simples, la tendance est constante, les accroissemens dépendent invariablement de la même cause qui a conservé jadis les neiges du premier hiver en dépit des chaleurs du premier été. » L'avancée des glaciers n'était en définitive perçue que comme la conséquence d'un phénomène gravitaire : « Il faut en convenir, quelque triste que soit cette vérité, les glaces tendent à couvrir toute la surface des hautes Alpes, et à isoler les vallées plus tempérées qu'elles renferment. »

### De la création divine aux responsabilités de l'homme

Si, pour les hommes de science, le climat obéissait ainsi à une loi physique réglée, dont il convenait de décoder les mécanismes et si, pour les observateurs de la montagne, l'avancée des glaciers ne témoignait pas de changements majeurs, on ne saurait pourtant dire que les hommes du 18<sup>e</sup> siècle ignoraient entièrement l'idée même d'un changement

climatique, ni, singulièrement, la possibilité d'une action anthropique.

C'est sans doute chez Montesquieu que l'on trouve les premières interrogations en la matière. Dès 1719, il avait lancé un *Projet d'une histoire de la terre ancienne et moderne* (13). Montesquieu faisait appel aux savants de toutes les nations pour travailler à l'histoire naturelle, géographique, géologique et climatique, et pour étudier, à côté des changements survenus à la surface de la terre, les variations et les altérations de l'équilibre naturel résultant de l'activité humaine. Mettre l'accent sur l'effet des changements faits « de la main de l'homme », qui « ont donné une nouvelle face à la Terre », cela revenait, pour lui, à souligner les problèmes du rapport entre « physique » et « morale » (entre nature et histoire). Dans ses mémoires à l'Académie des Sciences, Duhamel s'interrogeait dans le même sens : « Il y a tout lieu de croire qu'il n'est guère de climat qui ne change plus ou moins sensiblement d'un siècle à l'autre, soit par les atterrissements qui s'y accumulent, soit par les inondations qui en enlèvent une partie du terrain et, s'il est cultivé, par le dessèchement des étangs et des marais, par la coupe ou le plantement des bois, et par cent autres causes de cette espèce » (14).

L'idée, en fait, n'était pas entièrement nouvelle, mais elle renouait avec la vieille thèse de Théophraste, selon laquelle la dégradation des forêts pouvait favoriser la multiplication des intempéries. Certains auteurs, comme John Woodward, en concluaient à la possibilité d'impacts locaux sur le climat. Mais c'est Buffon qui, le premier, dans *Les Epoques de la Nature*, formula les réponses les plus précises aux interrogations de Montesquieu. Pour lui, le développement des établissements humains, l'assèchement des marais, le défrichement des forêts, favorisaient le réchauffement du climat (15). De là s'expliquerait celui qu'avait connu l'Europe occidentale depuis l'époque romaine. L'installation des Européens dans les colonies (le défrichement des forêts de Guyane) en fournirait des preuves observables. Pour R. Grove, ce serait dans les années 1760, avec Pierre Poivre, que naîtrait, dans le monde colonial, l'idée d'un lien entre déboisement et changement climatique (16). Les premières observations sont en vérité sensiblement antérieures. Dès 1745, le médecin Gautier avait adressé, de Québec, des observations comparables, qui lui faisaient espérer que, « plus on défrichera de terre en Canada, et plus ce pays deviendra fertile » (17). La même idée fut reprise, en 1792, par *L'Encyclopédie de médecine*.

A la fin du 18<sup>e</sup> siècle, la forêt tendait ainsi à devenir un marqueur des évolutions climatiques, dont l'action de l'homme était le moteur. Cependant, les conclusions que les observateurs en tiraient n'étaient pas toutes identiques. Les ingénieurs des Eaux et Forêts, pour leur part, exprimaient la crainte que les déboisements, notamment en pays de montagne, n'affectassent de manière négative le climat (avec des changements dans l'orientation des vents, le régime des pluies) et ne constituassent un facteur aggravant, sinon déclenchant, des inondations que pouvaient connaître les avant-pays. Les bouleversements révolutionnaires donnèrent corps à ces hypothèses, motivant les enquêtes précé-

torales de 1804 et 1821. En 1838, Alexandre Surell dénonçait à son tour les ravinements, dans lesquels il voyait le résultat de déboisements excessifs qui avaient « rallumé » les torrents éteints : « On a vu de paisibles ruisseaux faire place à de fougueux torrents, que la chute des bois avait réveillés de leur long sommeil et qui vomissaient de nouvelles masses de débris sur des cônes de déjection cultivés sans défiance depuis un temps immémorial » (18).

En réalité, le lien, mécanique, avait été observé depuis longtemps. Dès le milieu du 17<sup>e</sup> siècle, le Parlement de Dauphiné, peut-être influencé par ses liens avec les Chartreux, bons observateurs des milieux montagnards, avait fait le même constat au lendemain de l'inondation de novembre 1651. Aucune cause divine n'avait été invoquée. Seule l'action des hommes avait été mise en cause pour expliquer les conséquences des pluies abondantes. Dans plusieurs de ses arrêts, ce Parlement dénonça avec vigueur les entreprises de dégradation des forêts dans les montagnes voisines, et il interdit « sous les peines les plus graves de continuer à couper et à défricher les bois, par les motifs qu'étant coupés et exploités, ils devenaient la cause des inondations, parce que les eaux ravinaient et entraînaient les terres que ne retenaient plus les arbres » (19).

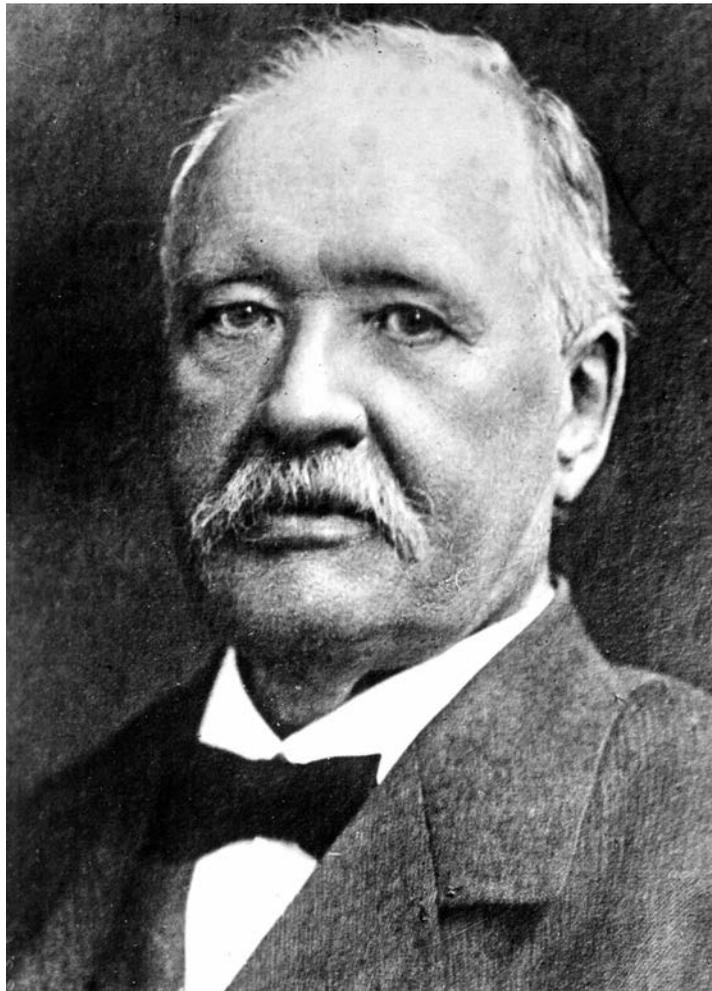
Les observations des ingénieurs allaient cependant plus loin. Il ne s'agissait plus seulement de s'interroger sur les impacts locaux de la dégradation des forêts, mais sur un possible changement plus général du climat, qu'auraient provoqué les supposés excès du déboisement révolutionnaire. Plus que tout autre, le prophétique ingénieur François-Antoine Rauch lança l'alarme sur ce qu'il considérait comme les nuisances écologiques de la Révolution, établissant une relation directe entre la déforestation et l'augmentation des intempéries : « Aussitôt que l'homme a porté sa hache sacrilège, ou la torche guerrière dans les forêts, il a commencé par altérer la chaleur et la fécondité de la Terre, en diminuant le domaine des animaux... en détruisant des végétaux, dans lesquels circulait sans cesse le feu de la vie... L'homme, insensible dans ses destructions, est loin de songer qu'autant de fois qu'il mutile la nature, autant de fois il commet un crime envers sa postérité, dont il diminue les moyens de subsistance (20). » De cette inconséquence aurait résulté la multiplication des ouragans et des tempêtes, comme la menace grandissante des glaciers.

Si la révolution humboldtienne mit fin aux discours prophétiques et providentialistes, les interrogations restaient nombreuses et l'idée d'un changement global, discutée. En 1845, après un premier mémoire adressé à l'Académie des Sciences et vivement contesté, le Dr Furstler entendait, à son tour, établir la preuve de l'action de l'homme sur le climat (21). Mais c'est le travail des physiciens qui commença, peu à peu, à confirmer la réalité du changement climatique, et l'hypothèse qu'il pouvait être la conséquence de l'action humaine. Dès 1824, le physicien Joseph Fourier, replaçant pour la première fois le problème des températures de la terre dans un contexte cosmologique, développait l'idée que tous les effets terrestres de la chaleur du soleil étaient modifiés par l'interposition de l'atmosphère et la présence de l'océan : « La terre est... plongée dans la température du ciel

interplanétaire, mais elle est échauffée par les rayons solaires, dont l'inégale distribution produit la diversité des climats.» Reprenant le modèle que Saussure avait élaboré afin de démontrer que l'effet de l'énergie solaire sur l'air était fonction de l'altitude – un dispositif expérimental de 5 caisses de verre, emboîtées les unes dans les autres et équipées de thermomètres –, Fourier comparait la terre (avec son enveloppe atmosphérique) à cette boîte vitrée, et il en concluait que « la température [du sol] est augmentée par l'interposition de l'atmosphère parce que la chaleur [rayonnement solaire] trouve moins d'obstacles pour pénétrer dans l'air ».

Si les données dont disposait Fourier ne lui permirent pas de quantifier cet « effet de serre », d'autres physiciens confirmèrent, dans la seconde moitié du 19<sup>e</sup> siècle, la réalité de changements climatiques (comme l'Irlandais John Tyndall, en 1860, en ce qui concerne les changements climatiques des périodes glaciaires) et l'hypothèse que ces changements pourraient être une conséquence de l'action humaine. C'est à Svante Arrhenius qu'il revint de lier la question du réchauffement climatique à celle de l'utilisation des combustibles fossiles, après qu'il ait été le premier à situer, en 1896, l'effet de serre dans le cycle du carbone.

Mais pour ce chimiste suédois, comme pour le médecin québécois Gautier un siècle et demi auparavant, le réchauffement généré par cette combustion devenait le gage d'une sécurité future. Il donnait à la terre l'assurance de repousser une hypothétique nouvelle ère glaciaire, et à ses habitants la promesse d'un avenir radieux : « Par suite de l'augmentation de l'acide carbonique dans l'air, il nous est permis d'espérer des périodes qui offriront au genre humain des températures plus égales et des conditions climatiques plus douces. Cela se réalisera sans doute dans les régions les plus froides de notre terre. Ces périodes permettront au sol de produire des récoltes considérablement plus fortes qu'au-



© Albert Harlingue/ROGER-VIOLLET

« C'est à Svante Arrhenius qu'il revint de lier la question du réchauffement climatique à celle de l'utilisation des combustibles fossiles, après qu'il ait été le premier à situer, en 1896, l'effet de serre dans le cycle du carbone. » Svante August Arrhenius (1859-1927), physicien et chimiste suédois.

jourd'hui, pour le bien d'une population qui semble en voie d'accroissement plus rapidement que jamais (22). »

### Notes

\* LARHRA (Laboratoire de Recherche Historique Rhône-Alpes) – UMR CNRS 5190 Université Pierre Mendès-France – Grenoble 2.

(1) Ce texte reprend, en élargissant les perspectives, celui publié en 2008 dans le cadre d'un ouvrage collectif réalisé sous la direction de Denis Lamarre, *Climat et risques. Changement d'approches*, Paris, Lavoisier, 2008, p. 9-23.

(2) *Courrier international*, n° 881, 20-26 septembre 2007.

(3) *Géo*, n° 68, octobre 1984.

(4) Alfred Fierro, *Histoire de la météorologie*, Paris, Denoël, 1991, p. 31-55.

(5) Emmanuel Le Roy Ladurie, *Histoire humaine et comparée du climat, t. 1, Canicules et glaciers, XIII<sup>e</sup>-XVIII<sup>e</sup> siècles, t. 2, Disettes et révolutions, 1740-1860*, Paris, Fayard, 2004-2006, 742 et 614 p.

(6) Maurice Garden, *Des récits de catastrophe à l'intime des Mémoires*, in René Favier et Anne-Marie Granet-Abisset (dir.), *Récits et représentations des catastrophes depuis l'Antiquité*, Grenoble, MSH-Alpes, 2005, p. 273-290.

(7) Louis Cotte, *Traité de météorologie*, à Paris, Imp. Royale, 1774, XXXVI + 635 p.

(8) J.-P. Legrand et M. Le Goff, *Les observations météorologiques de Louis Morin*, Paris, Direction de la météorologie nationale, 1992, 2 vol., 35 p. et 109 ff ; Emmanuel Le Roy Ladurie, *Histoire humaine et comparée du climat, t. 1, Canicules et glaciers, XIII<sup>e</sup>-XVIII<sup>e</sup> siècles*, Paris, Fayard, 2004, 742 p.

(9) Histoire de l'Académie..., 1666-1699, « Mémoires », p. 29-36.

(10) Histoire de l'Académie..., 1714, « Mémoires », p. 1.

(11) Histoire de l'Académie..., 1743, p. 15-16.

(12) Louis Ramond de Carbonnières, *Lettres de M. William Coxe à M. W. Melmoth sur l'état politique, civil et naturel de la Suisse*, traduit de l'Anglois, à Paris, chez Belin, 1781.

(13) Montesquieu, *Projet d'une histoire de la terre ancienne et moderne*, 1719, texte établi, présenté et annoté par Lorenzo Bianchi, in *Oeuvres complètes de Montesquieu*, volume 8, *Oeuvres et écrits divers*, tome I, Voltaire Foundation, 2003.

- (14) Histoire de l'Académie..., 1765.
- (15) Georges-Louis Buffon, *Époques de la nature*, dans : Supplément à l'Histoire naturelle, vol. V, 1778, p. 243-244.
- (16) Richard H. Grove, *Ecology, Climate and Empire : Colonialism and global environmental history, 1400-1940*, Cambridge, White Horse Press, 1997.
- (17) Histoire de l'Académie..., 1746, p. 91.
- (18) Alexandre Surell, *Etude sur les torrents des Hautes-Alpes*, Paris, Carilian-Gœury et V. Dalmont, 1841 ; *Annales des Ponts et Chaussées. Surell et la restauration des terrains de montagne*, n° 103, juillet-septembre 2002.
- (19) Recueil des Edits, Déclarations, Lettres patentes et Ordonnances du Roy, Arrêts des Conseils de Sa Majesté et du Parlement de Grenoble concernant en général et en particulier la province de Dauphiné, Grenoble, Giroud, t. 1, 1690, in 4°, p. 389, arrêt du 20 décembre 1651 ; voir aussi les arrêts des 7 décembre 1655, 20 septembre 1655, 8 avril 1656, 2 août 1672 et 19 décembre 1682.
- (20) François-Antoine Rauch, *Harmonie hydrovégétale et météorologique*, Paris, Levraut, 1802, 2 vol., 375 et 299 p. ; Raphael Larrère, *L'utopie forestière de François-Antoine Rauch*, Paris, INRA, 1985.
- (21) Dr Furster, *Des changements dans le climat de la France. Histoire de ses révolutions météorologiques*, Paris, Capelle, Libraire - Editeur, 1845, 503 p.
- (22) Svante Arrhenius, *L'évolution des mondes*, Paris, C. Beranger, 1910, V-246 p.

## Les leçons de l'histoire géologique et des grandes extinctions d'espèces

Parler de biodiversité conduit souvent à évoquer l'ours des Pyrénées, depuis la disparition de Cannelle, le 1<sup>er</sup> novembre 2004, qui est devenue un symbole. On pense aussi au retour du loup dans les Alpes, à l'éléphant d'Afrique... autant d'animaux un peu mythiques : le nounours de notre enfance, que nous tenions dans les bras en écoutant les histoires du petit Chaperon rouge, à côté de Babar... Maintenant que nous sommes des adultes, nous ne devons pas oublier la disparition d'autres organismes (des vers, des insectes, des bactéries, etc.), que ceux-ci soient utiles, agréables, ou au contraire considérés comme nuisibles, qui contribuent, eux aussi, à la biodiversité.

par Patrick DE WEVER\*

Ainsi, par exemple, la diminution de 25 %, en une vingtaine d'année, du nombre d'oiseaux associés aux champs ouverts est inquiétante, car elle est la conséquence de la disparition, liée à l'usage intensif de pesticides dans les champs, de toute une chaîne alimentaire. Cela justifie l'application du plan « Ecophyto 2018 », qui prévoit de réduire de moitié l'usage des pesticides en France d'ici 2018 : on avait oublié qu'un pesticide est, avant tout, un biocide...

Donner à la disparition de quelques espèces particulières un caractère emblématique est sans doute bénéfique, car nous avons besoin de symboles. Néanmoins, il convient de ne pas oublier que le plus important et le plus grave, en matière de disparitions d'espèces, n'est pas forcément le plus visible : de la même façon que ce ne sont pas des squelettes de dinosaures qui constituent les imposantes falaises de la Chartreuse et du Vercors (par exemple), mais bien des restes d'algues microscopiques, dont la taille ne dépassait guère le micromètre. Une autre image, tirée de notre quotidien, peut être utilisée : dans nos foyers scintillent de multiples petites diodes vertes ou rouges, qui sont souvent les voyants d'appareils électriques mis en veille. Elles représentent une consommation d'électricité non négligeable pour un pays comme la France : l'équivalent de la production d'une tranche de centrale nucléaire ! (cf. figure 1)

### Que recouvre le vocable « biodiversité » ?

Ce terme, proposé en 1985, est devenu familier en 1992 avec la Convention de Rio sur la diversité biologique. La biodiversité peut être considérée à trois niveaux : (1) la diversité génétique, qui reflète la variabilité des caractères d'une population (par exemple, la couleur des yeux), (2) la diversité spécifique, qui est celle des différentes espèces et (3) la diversité écosystémique, qui est celle des écosystèmes. Dans la suite de cet article, nous prendrons en compte la

seule diversité en termes d'espèces ou de leurs regroupements en genres et en familles. (cf. l'encadré ci-dessous)

### La biodiversité actuelle

#### *Le nombre d'espèces décrites*

Pour chiffrer la biodiversité actuelle, une première approche conduit à penser qu'il suffit de compter le nombre d'espèces qui ont été déclarées, la description de toute nouvelle espèce faisant l'objet d'un enregistrement dans un catalogue, au niveau international. Le nombre total d'espèces vivantes répertoriées se situe un peu au-dessus de 1,7 million. Il subsiste néanmoins une incertitude, car il se peut que certaines espèces aient été décrites de manière distincte par des auteurs différents et fassent, de ce fait, l'objet de plusieurs enregistrements.

#### **Classer le vivant**

Les spécialistes de la biodiversité utilisent des mots – espèces, genres, familles –, qui correspondent à divers degrés de la classification, comme on met des objets (espèces) dans un tiroir (genre), puis les tiroirs, dans une armoire (famille), etc. Ces termes correspondent à une classification : ils représentent des niveaux hiérarchiques différents, qu'il convient de distinguer, quand on évoque la biodiversité. La courbe de biodiversité des espèces d'un écosystème donné ne doit donc pas être comparée avec la courbe de biodiversité des familles d'un autre écosystème.



**Figure 1.** Les gigantesques falaises du Vercors sont constituées de calcaire. Cette roche est un produit de la vie puisqu'elle résulte de l'accumulation de restes d'organismes nanoscopiques. Leur taille est certes infime, mais leur nombre est immense. (Falaises du Vercors, vues vers le Sud-ouest à partir du col du Rousset). © P. De Wever

### L'évaluation du nombre total d'espèces vivant aujourd'hui

Toutes les espèces vivant actuellement n'ont pas encore été décrites. Leur nombre ne peut être qu'estimé et les marges d'incertitude varient beaucoup. L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), lors de son congrès de Fontainebleau, en 1999, a retenu le chiffre de 7 millions d'espèces au total, une fourchette réaliste se situant entre 5 et 15 millions. Mais le degré d'incertitude est tel qu'il nous invite à prendre en compte une variabilité allant de 3 à... 100 millions d'espèces. Cette énorme incertitude concernant le nombre d'espèces vivantes a évidemment des répercussions sur l'estimation des extinctions actuelles (de fait, nous en savons encore moins sur les probabilités d'extinctions que sur le nombre des espèces vivant aujourd'hui).

### L'estimation de la biodiversité du passé.

La biodiversité actuelle n'est qu'un instantané, la dernière image d'un film qui a débuté il y a quelque quatre milliards d'années. Elle n'est que le résultat (temporaire) d'un processus toujours en action : par conséquent, ce serait faire preuve d'indigence intellectuelle que de vouloir étudier

la biodiversité actuelle sans en appréhender la dimension historique.

L'histoire de la vie sur la Terre fait apparaître une tendance à l'augmentation de la diversité. Cependant, de nombreux épisodes d'extinction massive ont jalonné cette augmentation. La durée de vie moyenne d'une espèce, entre son apparition et son extinction, telle qu'on peut l'estimer grâce à l'étude des fossiles, est généralement de quelques millions d'années (de 1 à 10 millions d'années). L'on constate, toutefois, une grande variabilité d'un groupe à l'autre, ainsi qu'à l'intérieur d'un même groupe. Certains groupes ont des durées de vie beaucoup plus longues : ainsi le coelacanthé (un poisson osseux « fossile vivant »), chez les animaux, ou le ginkgo, dans le monde végétal, perdurent depuis le Paléozoïque, soit depuis près de 300 millions d'années... D'autres espèces ont des durées de vie beaucoup plus brèves (de l'ordre de 100 000 ans, pour les ammonites du Crétacé).

Diversifications et extinctions existent depuis des centaines de millions d'années. On en a repéré tout au long de l'enregistrement fossile, les premières étant plus importantes que les secondes, puisque le nombre d'espèces augmente. La diversité actuelle ne serait pas ce qu'elle est si les extinctions n'avaient pas permis le développement de nouvelles catégories : ainsi, l'homme a bénéficié d'une crise, à la transition entre le Crétacé et l'ère Tertiaire. Pour repré-

senter l'évolution de la biodiversité au cours du temps, on a le plus souvent recours à des courbes. Leur forme est extrêmement variable, selon que l'on traite de tel ou tel environnement, de tel ou tel niveau de la classification. Ainsi, une courbe d'évolution de la biodiversité n'a aucune signification, si le niveau de la classification et l'environnement considérés ne sont pas précisés.

### *Extinctions et crises*

L'échelle des temps géologiques a été subdivisée, initialement, sur la base des grands bouleversements enregistrés par le monde du vivant. Il est donc logique que de grandes crises de la paléo-biodiversité séparent entre elles les grandes ères géologiques. A l'intérieur de chacune des subdivisions, la biosphère a subi des événements difficiles. Des espèces apparaissent et disparaissent tout au long de l'histoire géologique. Parfois, les disparitions d'espèces sont inhabituellement importantes : elles affectent l'ensemble du globe et des groupes vivants très différents les uns des autres. Ces disparitions plus importantes, voire massives, sont qualifiées de crises. Les crises répertoriées sont nombreuses, mais cinq d'entre elles ont été plus importantes que les autres. L'estimation des variations de la biodiversité au cours du temps est certes délicate à effectuer ; il convient donc de considérer les chiffres avec beaucoup de prudence. Il n'en reste pas moins que tout le monde s'accorde pour reconnaître l'existence de périodes qui témoignent d'événements brutaux et de grande ampleur, que l'on qualifie généralement de « crises du monde vivant ». Partant de ce constat, différentes hypothèses ont fleuri pour tenter d'expliquer ces phénomènes qui ont profondément marqué la vie sur Terre, à différents moments de son histoire.

### *Les facteurs de biodiversité*

La biodiversité, au niveau global, dépend de différents facteurs qui interagissent entre eux, à toutes les échelles de temps et d'espace. Il est, de ce fait, parfois difficile de distinguer un élément influant d'un autre. Certains agents modifient la biodiversité, mais ne suffisent pas, à eux seuls, à conduire à une situation de crise. D'autres présentent un caractère spectaculaire, éventuellement catastrophique. Tous ont pu intervenir à des degrés divers.

Parmi ces facteurs, le climat est l'un des plus évidents.

La géographie en est un autre. En effet, le maximum de biodiversité se rencontre le long des côtes, sur la plateforme continentale. La périphérie des continents représente moins de 10 % du domaine marin, mais 95 % des espèces benthiques. C'est aussi à cet endroit que les variations du niveau marin se font le plus ressentir, par ennoyage de terres émergées ou, au contraire, par émergence de nouveaux domaines. Une modification du niveau marin est donc susceptible d'avoir des répercussions importantes sur la biodiversité. Des tendances globales de variation du niveau marin ont d'ailleurs été établies, et elles ont été mises en

correspondance avec des crises de biodiversité. Toutes les grandes crises sont corrélables avec un niveau marin bas. Par ailleurs, au cours des temps géologiques, les continents se sont regroupés (ou séparés) à plusieurs reprises, sous l'effet de la tectonique des plaques. Lorsqu'ils se rassemblent, la bande littorale s'en trouve diminuée et la biodiversité diminue. A l'inverse, lorsque des continents se fragmentent, la taille de la ceinture littorale augmente et cela induit, souvent, un accroissement de la biodiversité.

L'influence de chutes de météorites a été popularisée dans les années 1980, mais il n'est pas sûr que ce seul événement suffise à marquer fortement la biodiversité. Le succès médiatique de cette hypothèse est sans doute plus d'ordre onirique, voire politique, que scientifique...

Le méthane, puissant gaz à effet de serre, est produit en quantité non négligeable par les rizières, les rots des bovins ou... les flatulences des termites. On le trouve aussi sous une forme solide particulière : les hydrates de méthane (ou clathrates). Ces clathrates sont stockés principalement au niveau des plateformes continentales ou dans les zones où se trouvent des pergélisols. Ces hydrates de gaz sont suspectés d'être la cause de bouleversements climatiques au cours des temps géologiques, lors de leurs brusques dégazages, résultant de modifications de température et de pression.

Le lien entre les manifestations volcaniques géantes et la biodiversité est très fort. A certaines époques, ces manifestations ont eu une ampleur sans commune mesure avec ce que l'on connaît aujourd'hui sur terre. Ainsi, la vie, le climat et les volcans sont intimement liés, ne serait-ce que parce que le volcanisme a apporté le CO<sub>2</sub> nécessaire à la photosynthèse, ainsi que l'eau indispensable à la vie.

### *Un bilan des crises de la biodiversité*

Les causes des crises sont variées : il y en a huit de probables, et deux sont présentes dans tous les cas étudiés (les baisses du niveau marin et, dans une moindre mesure, des modifications paléogéographiques importantes). Les variations climatiques importantes sont impliquées dans quatre cas sur cinq, de même que les variations de salinité ou des dysoxies (baisse de la teneur des océans en oxygène). Les chutes de météorites et les manifestations volcaniques sont suspectées dans chaque cas, mais elles ne sont avérées que dans trois cas sur cinq. Pour évoquer les causes d'une grande crise du monde vivant, un parallèle peut être fait avec le roman d'Agatha Christie *Le Crime de l'Orient-Express* : la victime a reçu une dizaine de coups de couteau, dont aucun n'aurait vraisemblablement, à lui seul, été fatal (mais... : dix ?...) On préfère donc aujourd'hui évoquer une conjonction de facteurs défavorables, plutôt qu'un unique critère.

### *Les extinctions actuelles d'espèces*

Depuis un siècle, les extinctions d'espèces survenues dans les groupes les mieux étudiés – surtout les oiseaux et les mammifères – et répertoriées rigoureusement par

l'UICN, se produisent au rythme d'une espèce environ par an. Sur les 4 629 espèces de mammifères connues en 2004, 50 extinctions ont été enregistrées au 20<sup>e</sup> siècle, soit un taux d'« érosion » de 1,1 %. Pour les oiseaux, 40 extinctions ont été observées pour 10 000 espèces, soit une « érosion » de 0,4 % par siècle. Sachant que le nombre d'espèces d'oiseaux et de mammifères est de 13 000, l'espérance de vie des espèces serait alors d'environ dix mille ans. Si cette durée de vie peut paraître longue, elle est néanmoins beaucoup plus courte que la durée de vie moyenne de 1 à 10 millions d'années, que permet d'estimer l'étude des oiseaux et des mammifères fossiles. Le rythme d'extinction actuel des groupes les mieux connus est donc de cent à mille fois plus rapide que la moyenne historique.

Pour le siècle prochain, on estime que le taux d'extinction sera dix mille fois plus rapide que le rythme historique (à un ordre de grandeur près, au maximum). Ce serait la sixième grande vague d'extinctions, différente des précédentes en ce qu'elle résulte des activités d'une seule autre espèce (l'espèce humaine), plutôt que de bouleversements extérieurs de l'environnement.

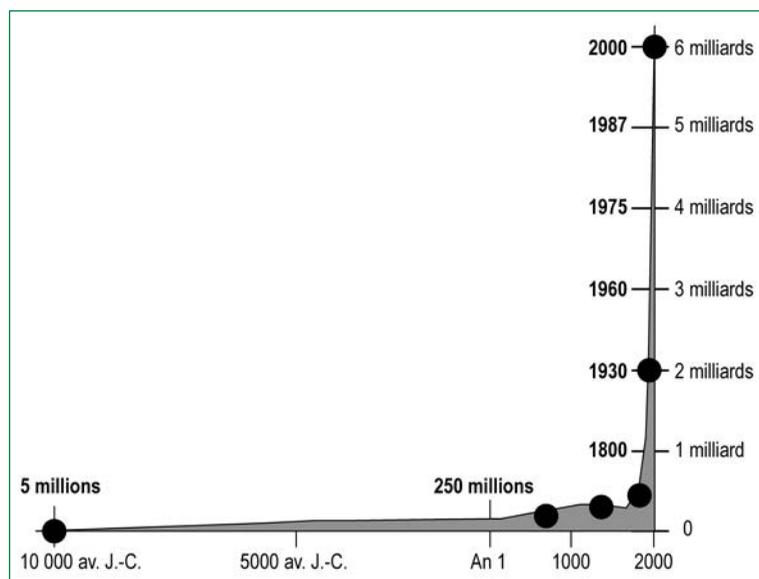
L'histoire de la biosphère peut être comprise comme une succession de biodiversités qui se sont relayées, réagissant aux changements de la géosphère ou à des mécanismes autorégulateurs agissant à divers niveaux d'organisation du vivant : organismes, peuplements, espèces... ou encore à des actions anthropiques. Les phases de récupération post-crisis nous apprennent la manière dont s'effectue le retour à un nouvel état d'équilibre : elles sont essentielles à la compréhension des phénomènes qui accompagnent la cicatrization de la biosphère. Les phases post-crisis, accessibles uniquement à partir des documents fossiles, nous offrent l'opportunité exceptionnelle de pouvoir apprécier la capacité de réaction de la biosphère à des perturbations majeures.

## Demain : la crise ?

### *L'Homme face à la biodiversité*

On s'aperçoit seulement depuis deux ou trois décennies que les ressources de la planète sont limitées, que des mécanismes sont ébranlés et que l'Homme est responsable de cette évolution. En effet, au cours des seuls temps historiques, la population humaine a vu ses effectifs multipliés par plus de 60 (voir la figure 2). L'espèce humaine est devenue, en peu de temps, une espèce dominante qui s'impose au détriment de toutes les autres, que ce soit par ses prélèvements pour se nourrir, par les éradications qu'elle réalise pour son bien-être (celles des « nuisibles ») ou par les niches écologiques qu'elle occupe. Un chiffre permet de fixer les idées : depuis l'année de naissance de l'auteur de cet article, la population mondiale a augmenté de plus de 260 %. Jacques Dutronc chantait, dans les années 1970 : « 500 millions de Chinois, et moi et moi » : aujourd'hui, ils sont au nombre de 1,4 milliard !

Cette augmentation, cette hégémonie d'une espèce, inégalée jusqu'ici dans l'histoire de la vie, peut-elle conduire à son extinction ? Cette extinction est probable, soit du fait de causes externes (évolution climatique naturelle, volcanisme, météorite, épidémie, conjonction de facteurs...), soit en raison de causes internes (pollutions de tous ordres, accidents technologiques, guerres liées ou non à une surpopulation ou à une répartition inadéquate des ressources, monoculture de certains fruits ou céréales). Quoi qu'il en soit, le passé nous apprend que l'espèce humaine est appelée à disparaître à plus ou moins long terme... Mais, en attendant, son succès cause beaucoup de dégâts à la biodiversité en général...



**Figure 2.** L'évolution de la population humaine donne le vertige : 5 millions en -10 000 (au Néolithique), 250 millions en l'an 1 de notre ère, 0,55 milliard à la fin de la Renaissance, 1 milliard au début du 19<sup>e</sup> siècle, 2 milliards en 1930, 3 milliards en 1960, 6 milliards en 2000, 6,8 milliards en 2009. Une seule espèce est en train de dominer toutes les autres ; un déséquilibre est donc forcément introduit.

En résumé, les différentes estimations de l'état de conservation des vertébrés, des arbres et autres espèces végétales semblent indiquer que de 5 à 20 % des espèces appartenant à ces groupes sont menacées d'extinction à l'horizon du demi-siècle. Or, on peut affirmer, en termes généraux, que mieux un groupe est étudié, plus est importante la proportion des espèces considérées comme menacées. Inquiétants en eux-mêmes, ces chiffres mettent des noms et des détails précis sur certaines généralisations hâtives souvent proférées à propos des rythmes d'extinction. La perte de 25 % des espèces de mammifères est-elle plus importante que celle de 25 % des espèces d'insectes (bien plus nombreuses) ? Il convient néanmoins de ne pas oublier que, si les chiffres sont confortables pour la réflexion, certains relèvent plus de l'opinion que de la science. Mais que, néanmoins, comme le dit l'écologue Robert Barbault : « Quand il y a une guerre, il n'est pas nécessaire d'attendre le dénombrement des morts pour dire qu'il faut arrêter, le plus vite possible ! ».

### Note

\* Muséum National d'Histoire Naturelle.

### Bibliographie

LETHIERS (F.), *Evolution de la biosphère et événements géologiques*. Gordon & Breach, 321p, 1998.

DE WEVER (P.), DAVID (B.) & NERAUDEAU (D.), *Paléo-biosphère, regards croisés des sciences de la vie et de la Terre*. Société Géologique de France/Vuibert ; 2009.

WILSON (E.O.), *La diversité de la vie*. O. Jacob éd., coll. Sciences, 496 p., 1993.

JANVIER (Ph.), *D'une extinction à l'autre*, La Recherche, Numéro Spécial Biodiversité, août 2000, pp. 52-56, 2000.

La Recherche, Numéro Spécial Biodiversité, août 2000.

## Climat, adaptation, évolution et biodiversité

La biosphère, cette fine pellicule superficielle de notre planète au sein de laquelle les êtres vivants évoluent, est un système adaptatif complexe : un réseau d'interactions multiples où, au-delà de ses caractéristiques propres, l'existence même de chaque agent est liée à celle de ceux qui l'entourent. Les conséquences physico-mathématiques de cette complexité sont aujourd'hui connues dans leurs grandes lignes [1-3] : non-linéarité, métastabilité, auto-organisation, propriété émergente, invariance d'échelle, irréversibilité, sensibilité aux conditions initiales, chaos... Les implications biologiques, écologiques et environnementales de telles caractéristiques sont multiples [4, 5].

par Gilles ESCARGUEL\*

Parmi elles, une évidence s'impose : dans un monde en évolution permanente, toute approche du réel réduisant l'objet étudié aux seules caractéristiques dynamiques et fonctionnelles de ses composants élémentaires ne peut qu'échouer dans l'identification de l'ensemble des mécanismes responsables du maintien (et du devenir) du système considéré (1) [6, 7].

Sur les continents, comme dans les océans, les êtres vivants se répartissent entre groupes de reproduction – les espèces – au sein desquels ils partagent divers attributs (génétiques, biochimiques, physiologiques, éthologiques, écologiques), qui forgent leur identité et leur singularité. A l'échelle globale, ces êtres vivants ne sont pas distribués de façon homogène et uniforme. L'environnement physico-chimique, et notamment le climat, joue ici un rôle intuitivement évident, *via* les caractéristiques biologiques de chaque espèce, déterminant leur degré d'adaptation au milieu. Si les êtres vivants ne sont pas distribués de façon homogène et uniforme sur Terre, c'est d'abord (et surtout) parce que les conditions physico-chimiques à la surface de notre planète ne sont ni homogènes, ni uniformes. De cette double variabilité biologique et géographique est né un des concepts les plus féconds que la science du XX<sup>e</sup> siècle ait développés : la biodiversité [8]. Ou, plus exactement, les biodiversités (génétique, morphologique, taxinomique, phylogénétique, fonctionnelle, etc.), tant il existe aujourd'hui de façons différentes et complémentaires d'apprécier et de mesurer cette immense variété des êtres vivants – de quelques millions à quelques dizaines de millions d'espèces actuellement vivantes – qui peuplent notre planète [9].

Loin d'être figée, cette biodiversité a considérablement fluctué au cours du temps. Temps proche – biologique et écologique – de l'apparition aléatoire de variants géné-

tiques au sein des populations et, éventuellement, de leur sélection naturelle par voie de reproduction différentielle (2). Mais, aussi, temps profond – géologique et phylogénétique – de l'apparition, de l'évolution et, finalement, de l'extinction des espèces et, donc, de la formation, de l'évolution et du démantèlement des associations d'espèces qui constituent localement les systèmes écologiques fonctionnels. La biodiversité a une histoire. La biodiversité est une Histoire, longue de plus de 3,5 milliards d'années, mouvementée, faite d'extinctions et de diversifications, de crises et de reconquêtes, sur fond de catastrophes naturelles et de changements globaux – une Histoire dont l'Homme s'apprête, aujourd'hui, en toute conscience, à écrire une nouvelle page [10].

Des assemblages locaux de populations (les communautés) à la biosphère toute entière, en passant par les métacommunautés régionales (3) et les grandes provinces biogéographiques continentales (ou océaniques), cette hétérogénéité spatiale et cette variabilité temporelle de la biodiversité posent question. Quelle est la part des processus fonctionnels, intrinsèquement déterministes et historiques, de nature contingente et aléatoire, dans la mise en place, le contrôle et l'évolution des patrons de structuration géographique du vivant ? Par quels mécanismes les paramètres physico-chimiques de l'environnement interviennent-ils dans l'organisation spatiale et l'évolution temporelle de la biosphère, laquelle influence en retour bon nombre des caractéristiques physico-chimiques de notre planète ? Quelles sont les lois d'échelles d'espace et de temps sous-jacentes à ces actions, à ces interactions et à ces rétroactions ?

Stimulantes par l'acuité des enjeux qu'elles dessinent, notamment en termes appliqués de protection et de conser-

vation de la biodiversité actuelle [11, 12], ces questions fondamentales définissent aujourd'hui le cœur d'une discipline très active, mais encore étonnamment mal identifiée dans le paysage scientifique français : la macro-écologie [7, 13-15]. En bref, la macro-écologie consiste, à partir de l'analyse statistique de descripteurs biologiques et environnementaux estimés pour un grand nombre d'« Unités Ecologiques Opérationnelles » (organismes, populations, communautés, méta-communautés), en la **modélisation descriptive et inférentielle de motifs d'organisation éco-géographique, à des fins de compréhension des processus fonctionnels et historiques les ayant générés**. En raison de la complexité des systèmes étudiés, un tel programme de recherche, pluridisciplinaire par nécessité, requiert la prise en compte de données spatialisées actuelles, archéologiques et paléontologiques, afin d'identifier les paramètres et les mécanismes génériques contrôlant les dynamiques spatiales et temporelles de la biodiversité.

Le présent article n'a d'autre ambition que d'illustrer une telle approche au moyen de deux exemples, choisis en raison de leur complémentarité. Dans un premier temps, nous montrerons comment un patron d'organisation globale très fréquemment observé – le Gradient Latitudinal de Biodiversité – pourrait bien être le résultat à la fois **contingent et nécessaire** d'une distribution aléatoire, mais contrainte, des espèces à la surface de notre planète. Dans un deuxième temps, nous nous intéresserons à la dynamique temporelle des variations de biodiversité, aux échelles locale et régionale et à leur sensibilité respective aux changements climatiques.

### **Le Gradient Latitudinal de Biodiversité : un hasard nécessaire ?**

Dans la nature actuelle, le nombre d'espèces coexistant en un endroit donné diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne des basses latitudes intertropicales pour se rapprocher des hautes latitudes circumpolaires. Ce Gradient Latitudinal de Biodiversité (GLB) est un des patrons d'organisation spatiale de la biodiversité le plus anciennement et largement reconnu, et étudié [14, 16]. Les données paléontologiques montrent qu'il a, également, souvent existé, au cours des temps géologiques. A ce jour, une trentaine d'explications possibles ont été avancées, sans qu'aucun consensus ait émergé. Parmi elles, une hypothèse, dite de contrainte géométrique par « effet de milieu de domaine », a particulièrement retenu l'attention ces dernières années. D'après cette hypothèse, la formation d'un GLB est une caractéristique émergente du système considéré : elle est la conséquence directe, nécessaire et hautement reproductible de la distribution géographique aléatoire des espèces, à l'intérieur d'un espace colonisable clos (un **domaine**). A l'échelle de chaque espèce, aucun déterminisme n'est ici requis : le patron observé est le résultat du seul hasard (4). La « règle » est simple : dans un domaine à « N » dimensions, où l'on répartit, au hasard, plusieurs objets de tailles et de formes aléatoires, le nombre maximal de superpositions est toujours atteint vers le centre du domaine, et le nombre de

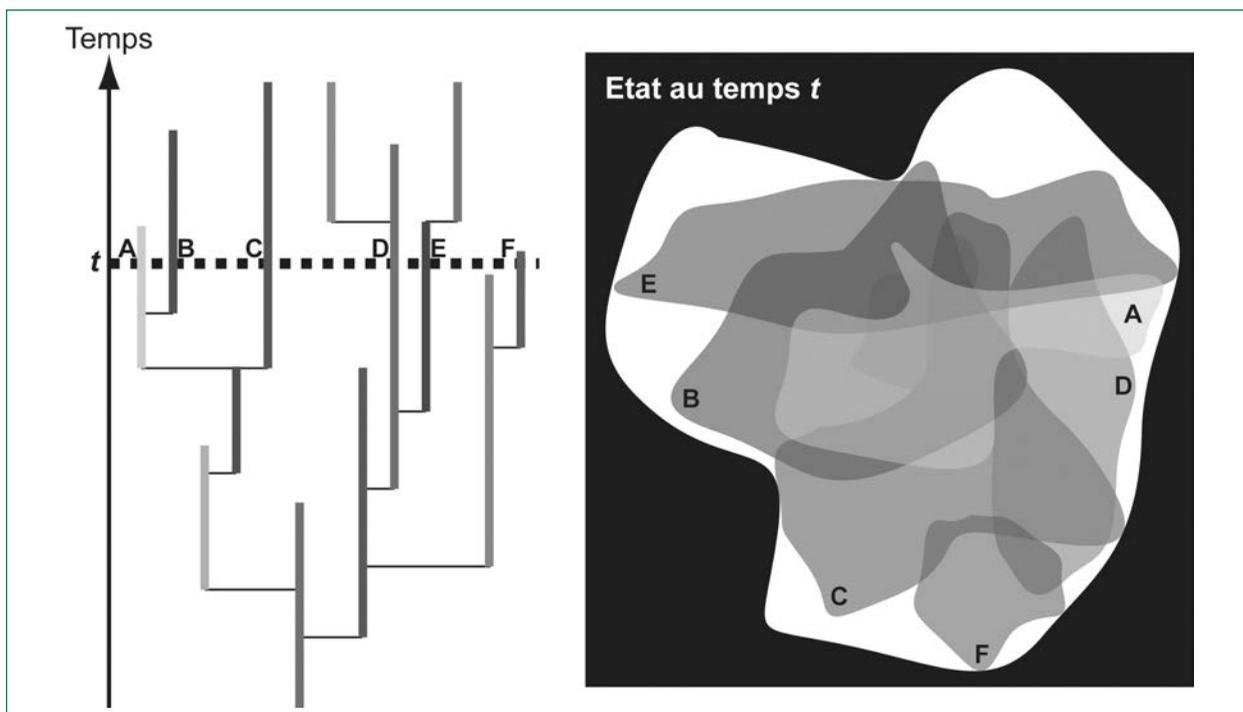
superpositions diminue au fur et à mesure que l'on s'approche de ses frontières. En théorie, le raisonnement s'applique aussi bien à des gradients latitudinaux que longitudinaux, mais également à des gradients altitudinaux (sur les continents) ou de profondeur (dans les océans).

La force de cette hypothèse – sa simplicité et sa généralité – en est également le principal défaut : souvent acceptable en première approximation, elle ne permet pas de reproduire, dans leurs détails, les GLB réellement observés dans la nature. En particulier, elle ne permet pas d'expliquer un phénomène assez largement répandu, notamment chez les organismes marins, mais généralement négligé par les auteurs : à l'échelle globale – d'un pôle à l'autre – les GLB sont rarement uni-modaux, avec un maximum de diversité enregistré autour de l'Equateur, mais ils sont, le plus souvent, bimodaux, les valeurs maximales étant observées en domaine subtropical ou légèrement au-delà, avec une chute sensible de biodiversité enregistrée dans la bande équatoriale. C'est le cas, entre autres, des foraminifères planctoniques (5), mais aussi des mollusques et des poissons osseux.

Par ailleurs, cette hypothèse, du fait qu'elle ignore délibérément les relations organisme-environnement et organisme-organisme au sein des écosystèmes, ainsi que les liens de parenté existant entre les espèces d'un même groupe phylogénétique, fournit une explication non fonctionnelle et anhistorique, dont on peut légitimement douter de la pertinence biologique. Par exemple, elle fait totalement abstraction de la dépendance des organismes vis-à-vis de la température de leur milieu de vie. Or, pour des raisons essentiellement physiologiques, la plupart des êtres vivants ne sont capables de vivre et de se reproduire que dans un intervalle de température précis et propre à leur espèce. Elle ignore également les multiples interactions (compétition ou collaboration) existant entre les organismes au sein des écosystèmes, par exemple pour l'accès à la nourriture. Or, près de deux siècles d'études scientifiques dans ce domaine ont produit des milliers d'exemples de telles interactions, qui sont au fondement même de la théorie de l'évolution que Darwin a formulée, voici de cela cent cinquante ans (1859). Enfin, elle ignore toute possibilité de variation, le long du gradient spatial considéré, des probabilités d'apparition et d'extinction des espèces. Or, le GLB pourrait très bien être la conséquence directe d'une diminution des probabilités d'apparition et d'une augmentation des probabilités d'extinction, à mesure que l'on se rapproche des pôles.

Afin d'intégrer ces différents paramètres biologiques au sein d'une hypothèse d'effet de milieu de domaine, nous avons conçu un modèle de simulation numérique en deux dimensions, de type automate cellulaire, appelé « modèle géophylétique » [17, 18]. Jusqu'à présent appliqué au milieu marin, ce modèle permet de générer aléatoirement une phylogénie (c'est-à-dire un ensemble d'espèces reliées entre elles par des liens de parenté) et de simuler la dispersion géographique de ces espèces pour, au final, observer le GLB qui en résulte (Voir la figure 1).

Différents paramètres physiques et biologiques peuvent être explicitement pris en compte, afin d'évaluer leur effet



**Figure 1.** Le modèle géophylétique génère aléatoirement l'apparition et l'extinction d'espèces reliées entre elles par des liens de parenté (une phylogénie, à gauche), ainsi que l'évolution de la dispersion géographique de chacune de ces espèces au sein d'un domaine clos (à droite : surface noire non colonisable).

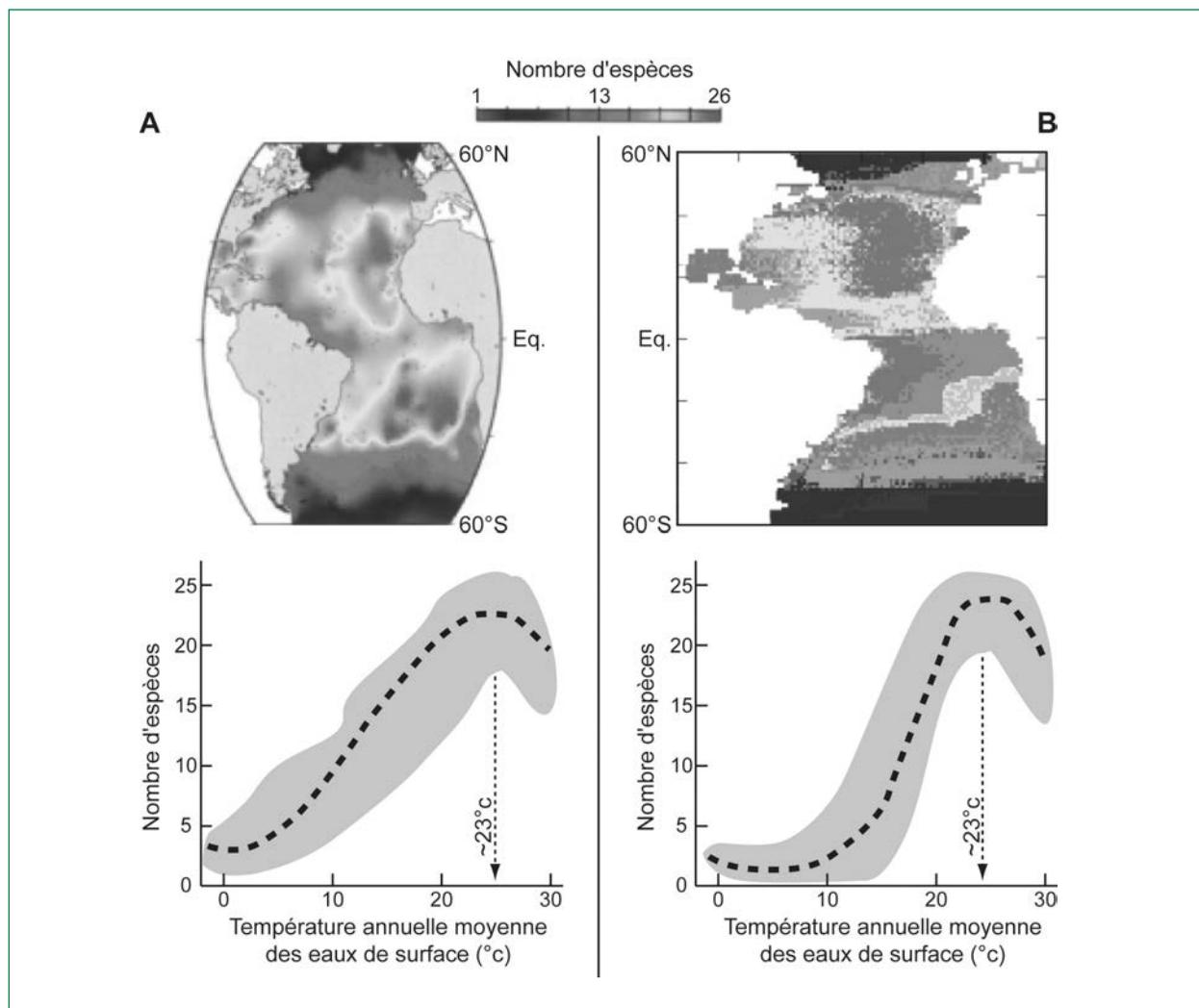
sur la mise en place d'un GLB : courants océaniques, température moyenne de l'eau, probabilités d'apparition et d'extinction, degré de dépendance thermique des espèces, nombre de niches écologiques localement disponibles, etc.

Nous avons appliqué le modèle géophylétique à l'analyse de la distribution géographique actuelle de la biodiversité dans l'océan Atlantique, où d'abondantes données sont disponibles, par exemple en ce qui concerne les foraminifères planctoniques (6) (Voir la figure 2A). Les centaines de simulations réalisées en faisant varier les différents paramètres du modèle convergent toutes vers la même solution (voir la figure 2B).

Le modèle géophylétique génère un GLB bimodal conforme à celui observé chez les foraminifères planctoniques actuels, lorsqu'on combine deux effets de milieux de domaines : l'un, **géographique**, produisant la diminution de la biodiversité à mesure que l'on se rapproche des pôles (et donc que l'on s'éloigne du centre du domaine), l'autre, **thermique**, produisant la chute de la biodiversité dans la bande équatoriale. En d'autres termes, la bi-modalité du GLB est la conséquence directe de l'existence d'un gradient latitudinal de température scindant le domaine simulé en deux sous-domaines (les deux hémisphères), au sein desquels un effet de milieu de domaine thermique s'applique. Au final, les valeurs maximales de biodiversité ne se rencontrent pas à l'Equateur, là où les températures annuelles moyennes sont maximales (~27°C actuellement), mais légèrement au-delà des Tropiques, vers 25°-30° de latitudes Nord et Sud, à des températures annuelles moyennes actuelles de l'ordre de 22-23°C.

La comparaison de différentes simulations obtenues en faisant varier l'intensité du gradient latitudinal de température montre que la chute de biodiversité dans la bande équatoriale dépend directement de ce paramètre. En effet, les simulations réalisées en l'absence de gradient latitudinal de température (conditions thermiques homogènes et uniformes au sein du domaine) aboutissent toujours à la mise en place d'un GLB uni-modal centré sur l'Equateur, résultat du seul effet de milieu de domaine géographique. Une autre façon de moduler l'intensité de la chute équatoriale de la biodiversité consiste à jouer sur l'amplitude possible des intervalles de température au sein desquels chaque espèce simulée peut vivre : plus ces intervalles sont grands, plus le GLB simulé est uni-modal et de faible amplitude. En revanche, le résultat obtenu est très peu sensible aux fluctuations des autres paramètres du modèle. Par exemple, la direction et l'intensité des courants océaniques, comme l'existence et l'intensité de gradients latitudinaux de probabilités d'apparition et d'extinction, n'ont aucun effet sur l'existence et la géométrie du GLB, réfutant ainsi plusieurs hypothèses avancées ces dernières années [18].

Mais le modèle géophylétique est intéressant, également, pour ce qu'il ne permet pas de générer. Par exemple, la comparaison des distributions spatiales observées et simulées (voir la figure 2) montre d'importants décalages longitudinaux, notamment dans l'hémisphère Sud. A l'évidence, le mécanisme invoqué afin d'expliquer l'existence d'un GLB ne suffit pas, pour autant, à expliquer la structuration longitudinale de la biodiversité des foraminifères planctoniques atlantiques actuels.



**Figure 2.** Distribution géographique (haut) et relation Température annuelle moyenne-Nombre d'espèces (bas) observées chez les foraminifères planctoniques atlantiques actuels (A ; d'après [19]) et simulées par le modèle géophylétique (B ; d'après [17]).

En cela, la démarche consistant à rechercher le paramètre unique, biotique ou abiotique, qui serait la cause de toutes variations spatiales de la biodiversité est une impasse logique et conceptuelle : dans un système complexe, l'universalité de patrons d'organisation (tel que le GLB) n'est pas la preuve formelle de l'existence d'un mécanisme univoque, simple et commun à l'ensemble du monde vivant.

### **Dynamiques locales et régionales de la biodiversité**

La biodiversité varie dans l'espace : nous venons d'en voir un exemple remarquable ; elle varie également dans le temps. A l'échelle de l'ensemble de la biosphère, le registre paléontologique illustre largement ces variations globales, plus ou moins lentes et régulières, jalonnées ces 550 derniers millions d'années par une bonne vingtaine de phases d'extinctions plus intenses, dont cinq grandes crises d'extinction de masse (7) [20].

A une échelle géographique plus restreinte et écologiquement fonctionnelle, le paysage naturel d'une région d'une superficie allant de quelques milliers à quelques dizaines de milliers de km<sup>2</sup>, les fluctuations temporelles de biodiversité se traduisent par des changements de diversité  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  (voir le tableau 1)

Quels sont les paramètres environnementaux et climatiques qui contrôlent de telles variations, aux échelles locale et régionale ? Les données permettant d'aborder cette question sont rares. En France, un ensemble de sites paléontologiques absolument exceptionnel, les phosphorites du Quercy, offre la possibilité, quasi unique au monde, d'illustrer la dynamique spatio-temporelle locale et régionale du peuplement de mammifères durant un intervalle de temps de 30 millions d'années, dont environ 18 millions d'années couverts sans discontinuité [21].

Au Sud-Ouest du Massif Central, les Causses du Quercy, un plateau calcaire d'environ 6 000 km<sup>2</sup> formé au cours du Jurassique supérieur (environ -150 millions d'années), sont un véritable livre ouvert sur la biodiversité passée et son évo-

Echelle géographique	Diversité d'inventaire (descriptive)	Diversité de différenciation (comparative)
Habitat local (de qq. km <sup>2</sup> à qq. centaines de km <sup>2</sup> )	Diversité $\alpha$	Diversité $\beta$  Diversité $\delta$
Région naturelle (qq. milliers de km <sup>2</sup> )	Diversité $\gamma$	
Province biogéographique (qq. centaines de milliers de km <sup>2</sup> )	Diversité $\epsilon$	

**Tableau 1.** Une *diversité de biodiversités*, offrant un formalisme simple à la notion d'intégration spatiale de la biodiversité (d'après R.H. Whittaker, [9]). Une diversité d'inventaire mesure la biodiversité au sein d'une aire géographique donnée ; une diversité de différenciation mesure l'hétérogénéité des diversités d'inventaires collectées pour plusieurs aires géographiques distinctes au sein d'une aire plus vaste.

lution. En effet, depuis au moins 55 millions d'années, l'eau, acteur majeur de l'érosion des paysages calcaires, creuse en son sein des centaines de gouffres, avens, grottes, fissures formant autant de pièges naturels, où tombent et sont enfouis les êtres vivants qui peuplent sa surface. Les remplissages fossilifères du Quercy sont connus dans le monde entier, pour leurs fossiles, depuis les années 1870, grâce à l'exploitation minière de ces sédiments karstiques riches en phosphate. Leur étude scientifique systématique, initiée par L. Thaler (Montpellier), L. Ginsburg et R. Hoffstetter (Paris), est régulière depuis la fin des années 1960. A ce jour, plus de 150 gisements ont été découverts et leurs contenus paléontologiques, étudiés. Ils ont permis l'identification de plus de 330 espèces de mammifères d'une longévité moyenne de 2,5 millions d'années. Aujourd'hui encore, chaque exploration révèle de nouveaux gisements jusqu'alors inconnus. La plupart des sites paléontologiques identifiés en Quercy couvrent un intervalle de temps, allant de -40 millions d'années à -22 millions d'années, au sein duquel chaque gisement est précisément daté. Cet intervalle inclut un événement climatique majeur, daté d'il y a 34 millions d'années : l'apparition de la calotte glaciaire antarctique, qui a entraîné un refroidissement sensible de l'ensemble de la Planète et une aridification des continents [22].

A l'échelle locale, cet événement climatique et la période plus froide et sèche qui s'ensuit sont très bien enregistrés par les communautés de mammifères qui vivaient alors en Quercy. Par exemple, la représentation de ces communautés sous la forme de cénogrammes (8) (voir la figure 3) illustre clairement la relation entre biodiversité locale, distribution pondérale et changements climatiques (voir la figure 4 [23]).

Dans des contextes climatiques allant de tempéré à chaud et humide, correspondant à des environnements de forêt décidue à tropicale, la diversité  $\alpha$  des mammifères est nettement plus élevée et leur spectre pondéral davantage continu qu'en contexte plus froid et aride, correspondant à des environnements subdésertique ou de savane plus ou moins arborée.

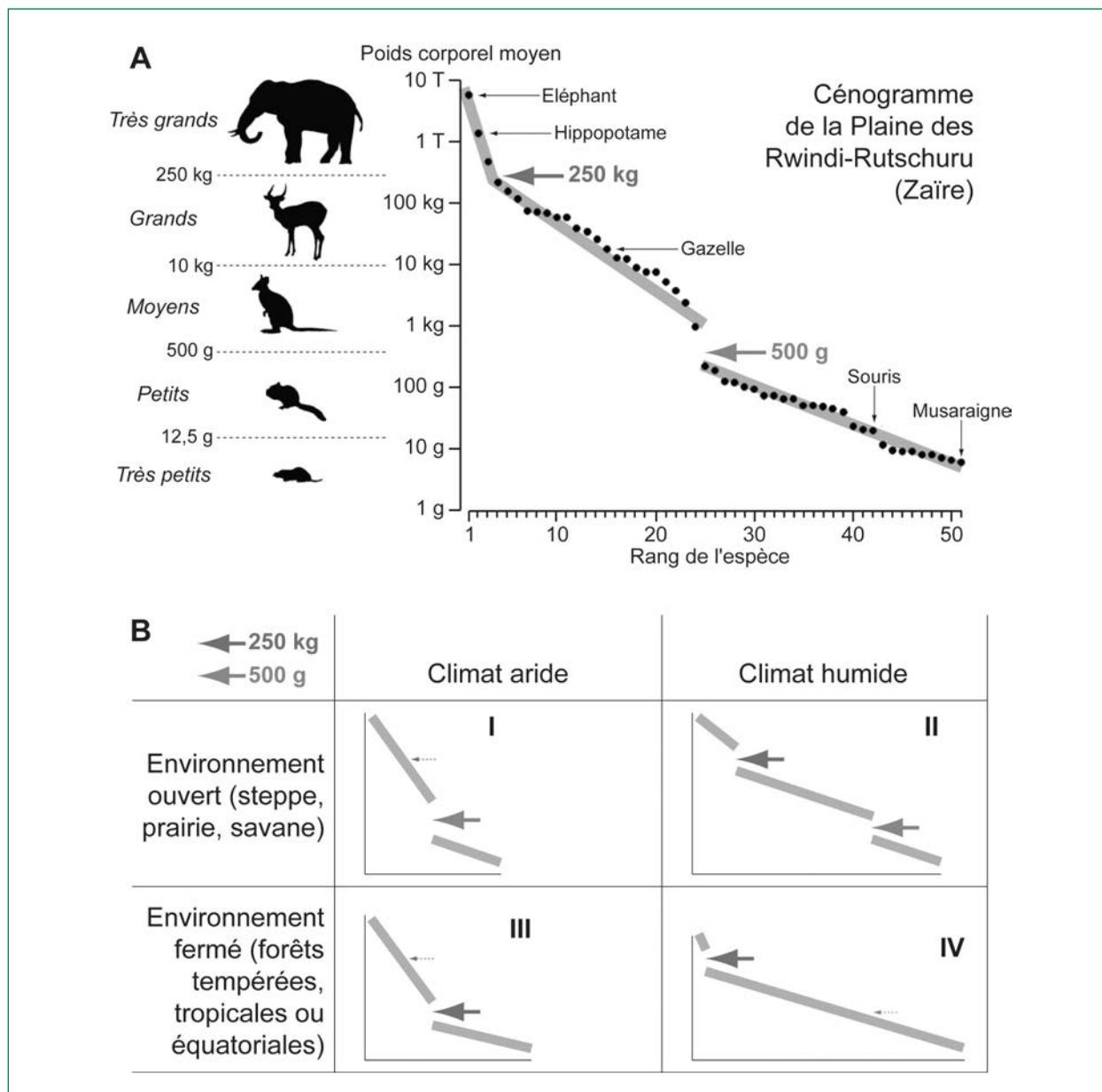
A l'échelle régionale, en revanche, le nombre d'espèces présentes (diversité  $\gamma$ ) apparaît indépendant des fortes fluctuations enregistrées au niveau local (voir la figure 5).

Cette indépendance implique nécessairement une variation de la diversité  $\beta$  au cours du temps, en lien avec les fluctuations climatiques enregistrées : plus le climat est globalement froid et sec, plus l'environnement est « ouvert », plus la diversité  $\beta$  est élevée, compensant ainsi la chute de diversité  $\alpha$  et stabilisant la diversité  $\gamma$ .

Ainsi, les fluctuations temporelles de biodiversité aux échelles locales et régionales apparaissent clairement découplées : si les communautés locales semblent fortement réagir aux variations climatiques et environnementales, les méta-communautés régionales apparaissent plus robustes à ces mêmes changements. Mais cette stabilité régionale a un prix : l'augmentation de l'hétérogénéité de composition entre communautés locales. Autrement dit, à mesure que le climat se refroidit et s'assèche et que l'environnement s'ouvre, le nombre d'espèces communes à différents habitats diminue, en lien avec la diminution des aires de répartition de chaque espèce au sein de la région considérée.

La nature exacte des paramètres contrôlant l'évolution de la biodiversité à l'échelle régionale reste encore à préciser. Une analyse numérique détaillée des rythmes d'apparition et de disparition d'espèces au sein de la région indique qu'à partir de -34 millions d'années environ (limite Eocène/Oligocène), la méta-communauté se met à osciller de façon périodique, selon un cycle d'environ 2 millions d'années, entre une phase dominée par les apparitions d'espèces et une phase dominée par les disparitions [23]. A ce jour, deux hypothèses de travail, non exclusives l'une de l'autre, sont à l'étude :

- ✓ ce cycle apparition-extinction pourrait être contrôlé astronomiquement, et donc climatiquement, *via* les oscillations de basses fréquences des cycles orbitaux de Milankovitch (9) (voir la figure 6), lesquels régulent, dès sa mise en place, à la limite Eocène/Oligocène, l'expansion de la calotte glaciaire antarctique, ainsi que le refroidissement climatique global, précisément selon un cycle d'environ 2 millions d'années ;
- ✓ ce cycle pourrait être intrinsèque à la méta-communauté elle-même, qui s'auto-organiserait (en tant que système adaptatif complexe) en oscillant autour d'un état d'équilibre initialement perturbé par le changement climatique global de la limite Eocène/Oligocène.



**Figure 3.** Exemple de cénogramme (A) et schémas des quatre grands types climato-environnementaux de cénogrammes (B) (d'après S. Legendre, [23]). La plaine des Rwindi-Rutschuru est une savane en climat subhumide.

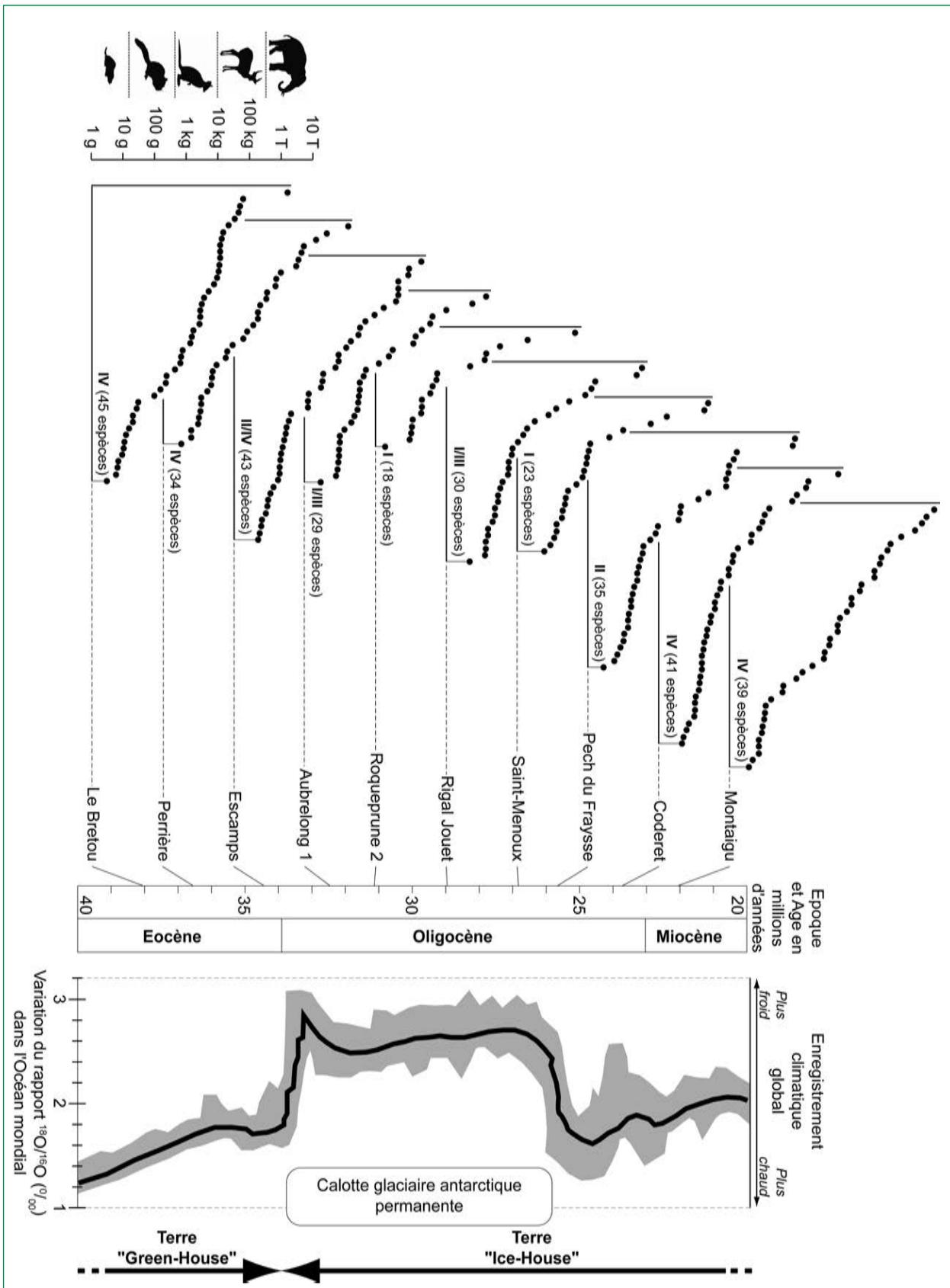
Ces deux hypothèses, ainsi que leur possible interaction, demandent à être testées *via* des modèles de simulation (en cours de développement).

### Un couple déterminant : le climat et l'adaptation

La confrontation des résultats issus de ces deux exemples (parmi d'autres) est riche d'enseignements. En particulier, à toutes les échelles géographiques considérées, le rôle fondamental du climat et de ses fluctuations dans la structuration spatiale et la dynamique temporelle de la biodiversité apparaît clairement [24], soulignant le rôle fondamental joué par l'adaptation dans l'organisation spatiale et l'évolution de la biodiversité. Mais que l'on ne s'y trompe pas : cette adaptation, contrairement à l'intuition populaire

généralement répandue, n'est en aucun cas la cause active, lamarckienne, de l'évolution des êtres vivants – l'adaptation n'est pas un mécanisme orienté, modelant, transformant activement les individus vers un « but » à atteindre. Tout au contraire, elle en est la conséquence passive, par le jeu sélectif du couplage darwinien mutations aléatoires/reproduction différentielle, dans un contexte climatique et environnemental donné. Que ce contexte vienne à changer – pour quelque raison que ce soit – et c'est, bien au-delà des perturbations générées au niveau de chaque espèce considérée isolément, l'ensemble de la biosphère qui s'en trouvera affectée.

Ainsi, une augmentation globale de la température, associée à une réduction du gradient latitudinal de température (telle que tous les scénarios climatiques le prédisent pour le siècle en cours [10]), aboutira nécessairement à une



**Figure 4.** Succession de 10 cénogrammes associés à 10 gisements paléontologiques du Quercy (les deux localités les plus récentes, Coderet et Montaigu, proviennent en fait de la région adjacente de la Limagne, intégrée à l'analyse pour les trois derniers millions d'années afin de compléter le registre fossile quercynois). I-IV : types principaux de cénogrammes (voir la figure 3B). A droite, courbe d'évolution du rapport des isotopes 18 et 16 de l'oxygène enregistré dans les océans, témoignant de l'évolution climatique globale de la Planète, et tout particulièrement du passage d'une Terre *green-house* dépourvue de glace aux pôles, à la Terre *ice-house*, telle que nous la connaissons encore aujourd'hui (d'après [22]).

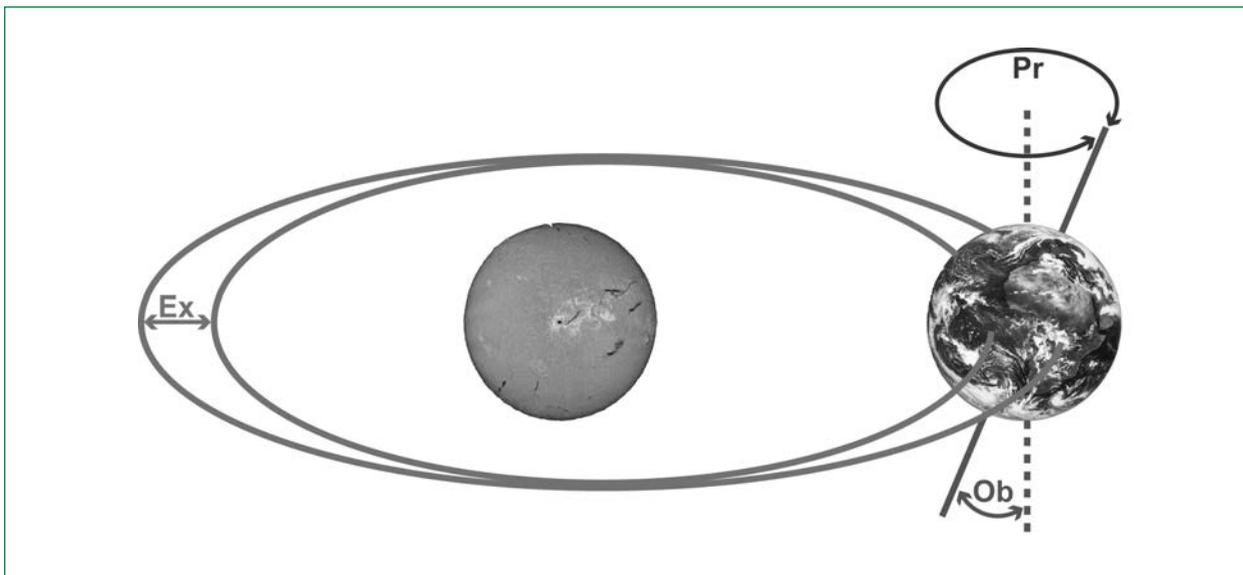


Figure 6. Les cycles orbitaux de Milankovitch, régulant les variations séculaires de l'insolation terrestre. Ex : excentricité ; Ob : obliquité ; Pr : précession des équinoxes.

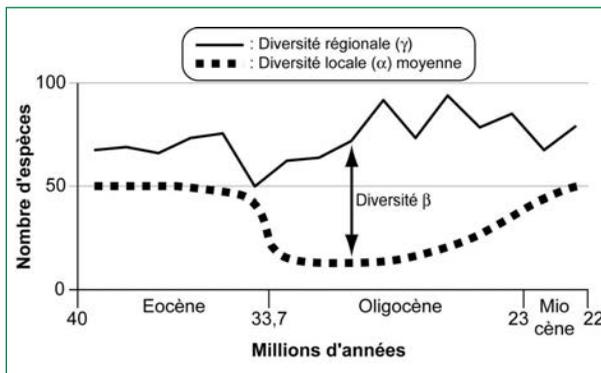


Figure 5. Evolution de la relation entre diversités  $\alpha$  moyenne,  $\beta$  et  $\gamma$  chez les mammifères du Quercy, entre ~40 et ~22 millions d'années.

diminution de la biodiversité globale du seul fait de l'homogénéisation des assemblages d'espèces entre les régions. Parallèlement (et, d'une certaine façon, paradoxalement), la pression anthropique croissante exercée à toutes les latitudes sur la plupart des écosystèmes terrestres et aquatiques se traduit, depuis quelques décennies, par une augmentation de la fragmentation des milieux, qui est une cause de diminution de la biodiversité locale [25]. Le cocktail est explosif : aujourd'hui, ces deux facteurs combinés – chute globale de la biodiversité d'origine climatique et chute locale d'origine démographique et agricole – engagent la biosphère dans sa sixième crise majeure d'extinction [26, 27].

Les changements climatiques globaux, tels que celui que l'Homme a artificiellement déclenché, voici de cela quelques décennies, ont eu, ont et auront des conséquences directes sur la biodiversité. Mais ces conséquences diffèrent sensiblement en fonction de l'étendue géographique considérée : l'impact du climat et de sa variabilité sur la biodiversité dépend intimement de l'échelle spatiale à laquelle on raisonne, et toute généralisation ignorant cette dépendance prend le risque de conduire à de fâcheux contresens.

Couplée à la pression anthropique, cette dépendance d'échelle est un des paramètres critiques dans la mise en œuvre de stratégies et d'outils efficaces de conservation de la biodiversité actuelle. En particulier, elle impose une intégration internationale étroite des politiques et des dispositifs de conservation aux échelles régionales et continentales/océaniques, notamment par l'établissement de corridors pérennes entre les zones protégées [25].

**Remerciements** à Emilie et Arnaud Brayard, Frédéric Quillévéré, Pauline Philippe et Anne Escarguel, pour leur lecture critique de cet article.

### Notes

\* Laboratoire Paléoenvironnements et Paléobiosphère – UMR 5125 du CNRS, Université Claude Bernard Lyon 1.

(1) Voir le document produit par l'Atelier « Complexité en Science de l'Environnement », dans le cadre de la réflexion de prospective menée en 2009 par le CNRS/Institut National Ecologie Et Environnement [http://www.cnrs.fr/inee/recherche/fichiers/ProspectiveRennes2009/Texte\\_CSE](http://www.cnrs.fr/inee/recherche/fichiers/ProspectiveRennes2009/Texte_CSE)

(2) Une population est l'ensemble des individus d'une même espèce, coexistant et interagissant localement au sein d'un même écosystème. Dans un environnement donné, un individu porteur d'une ou plusieurs caractéristiques morphologiques génétiquement héréditaires augmentant sa capacité de survie et/ou de reproduction a, de fait, une probabilité de transmettre son patrimoine génétique à la génération suivante supérieure à la moyenne des autres individus de sa population. Ainsi, de génération en génération (et ce, dès lors que l'environnement reste inchangé), ces caractéristiques avantageuses vont être de plus en plus fréquemment observées au sein de la population.

(3) Une méta-communauté est un ensemble régional de communautés locales liées par la dispersion d'individus interagissant (par exemple, pour l'accès à une source d'énergie (soleil, nourriture) ou à la reproduction).

(4) Ce phénomène aussi simple que contre-intuitif peut être facilement expérimenté grâce à un petit logiciel développé par Robert Colwell et librement téléchargeable à l'adresse URL suivante : <http://viceroy.eeb.uconn.edu/RangeModel>

On trouvera sur ce site une présentation simplifiée de l'hypothèse d'effet de milieu de domaine, ainsi qu'une bibliographie complète sur ce sujet.

(5) Micro-organismes unicellulaires auto ou hétérotrophes, producteurs de tests carbonatés (à ce titre acteurs majeurs dans la fixation du CO<sub>2</sub> dissous dans l'eau) et constituants essentiels de la base des chaînes alimentaires marines.

(6) Données librement accessibles à : <http://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.96900>

(7) Voir l'article de P. de Wever, publié au sein de ce même numéro.

(8) Un cénogramme est une représentation graphique de la distribution pondérale des espèces de mammifères (classées par ordre décroissant de taille) coexistant au sein d'un même écosystème. Chez les mammifères, deux masses « critiques » (~500 g et ~250 kg) apparaissent fréquemment. La comparaison de certaines de cénogrammes actuels provenant de tous les continents permet de mettre en évidence trois grandes « règles » empiriques, indépendamment de la liste exacte des espèces qui les composent :

✓ plus l'environnement est boisé (milieu « fermé »), plus le nombre d'espèces de grande et très grande taille diminue, ainsi que l'amplitude du « saut pondéral » à ~500 g ;

✓ plus le climat est humide, plus le nombre d'espèces >~5 kg est grand, ainsi que l'amplitude du « saut pondéral » à ~250 kg ;

✓ plus le climat est chaud, plus le nombre total d'espèces, notamment de petite et très petite taille, augmente.

(9) Au premier ordre de grandeur, l'insolation terrestre est contrôlée par trois paramètres orbitaux : l'excentricité (degré d'aplatissement de l'ellipse de révolution de la Terre autour du Soleil ; cycles de 405 000 et 110 000 ans), l'obliquité (inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport à l'écliptique (valeur moyenne : 23,5°) ; cycle de 41 000 ans), et la précession (rotation de l'axe de rotation de la Terre autour de la perpendiculaire à l'écliptique, provoquant un décalage, dans l'année, des solstices et équinoxes ; cycles de 23 000 et 19 000 ans). L'amplitude des cycles d'excentricité et d'obliquité fluctue également de façon périodique : cycles de 2,37 et 0,97 millions d'années pour l'excentricité, 1,2 millions d'années pour l'obliquité, se combinant en un cycle principal d'environ 2 millions d'années. En s'additionnant, l'ensemble de ces fluctuations orbitales aboutit à une variation de l'insolation terrestre évoluant dans un intervalle de  $\pm 20$  % autour de sa valeur moyenne, influençant ainsi profondément et durablement le climat terrestre.

## Bibliographie

- [1] (G.) NICOLIS & (I.) PRIGOGINE, *Exploring complexity: an introduction*, W.H. Freeman & Company, 1989.
- [2] (R.) HIGHFIELD, *Frontiers of complexity: the search for order in a chaotic world*, Ballantine Books, 1998.
- [3] (J.) GRIBBIN, *Deep simplicity: bringing order to chaos and complexity*, Random House, 2005.
- [4] (R. V.) SOLÉ & (B.) GOODWIN, *Signs of life : how complexity pervades biology*, Basic books, 2000.
- [5] (R. V.) SOLÉ & (J.) BASCOMPTE, *Self-organization in complex ecosystems*, Monographs in population biology, vol. 42, Princeton University Press, 2006.
- [6] (S. A.) LEVIN, *Ecosystems and the biosphere as complex adaptive systems*, *Ecosystems*, vol. 1, pp. 431-436, 1998.
- [7] (B. A.) MAURER, *Untangling ecological complexity: the macroscopic perspective*, University of Chicago Press, Chicago, 1999.
- [8] (E. O.) WILSON (édit.), *Biodiversity*, National Academy Press, 1988.
- [9] (A. E.) MAGURRAN: *Measuring biological diversity*, Blackwell Science, 2004.
- [10] Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat : 4<sup>e</sup> rapport de synthèse, GIEC, Genève, 2007 (<http://www.ipcc.ch>).
- [11] (T. M.) BROOKS et coll., *Global biodiversity conservation priorities*, *Science*, vol. 313, pp. 58-61, 2006.
- [12] (K. A.) WILSON et coll., *Prioritizing global conservation efforts*, *Nature*, vol. 440, pp. 337-340, 2006.
- [13] (J. H.) BROWN, *Macroecology*, University of Chicago Press, Chicago, 1995.
- [14] (M. L.) ROSENZWEIG, *Species diversity in space and time*, Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- [15] (K. J.) GASTON & (T. M.) BLACKBURN, *Pattern and process in Macroecology*, Blackwell Science, 2000.
- [16] (K. J.) GASTON, *Global patterns in biodiversity*, *Nature*, vol. 405, pp. 220-227, 2000.
- [17] (A.) BRAYARD et coll., *Latitudinal gradient of taxonomic richness: combined outcome of temperature and geographic mid-domains effects?*, *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, vol. 43, pp. 178-188, 2005.
- [18] (G.) ESCARGUEL et coll. : *Evolutionary rates do not drive latitudinal diversity gradients*, *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, vol. 46, pp. 82-86, 2008.
- [19] (S.) RUTHERFORD et coll., *Environmental controls on the geographic distribution of zoo-plankton diversity*, *Nature*, vol. 400, pp. 749-753, 1999.
- [20] (D. M.) RAUP, *De l'extinction des espèces*, NRF Essais, Gallimard, 1993.
- [21] (T.) PELISSIE & (B.) SIGE, (édits.) : *30 millions d'années de biodiversité dynamique dans le paléokarst du Quercy*, *Strata*, sér. 1, vol. 13, pp. 1-283, 2006.
- [22] (J.) ZACHOS et coll., *Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present*, *Science*, vol. 292, pp. 686-693, 2001.
- [23] (G.) ESCARGUEL et coll., *Unearthing deep-time biodiversity changes: the Paleogene mammalian metacommunity of the Quercy and Limagne area (Massif Central, France)*, *Comptes-rendus Geoscience*, vol. 340, pp. 602-614, 2008.
- [24] Secretariat of the Convention on Biological Diversity : *Interlinkages between biological diversity and climate change. Advice on the integration of biodiversity considerations into the implementation of the United Nations Framework Convention on Climate Change and its Kyoto protocol*, CBD Technical Series no. 10, Montreal, 2003 (<http://www.cbd.int>).
- [25] (A. F.) BENNET, *Linkages in the landscape: the role of corridors and connectivity in wildlife conservation*, World Conservation Union, 2003.
- [26] (R.) LEAKEY & (R.) LEWIN, *The sixth extinction: patterns of life and the future of humankind*, Anchor, 1996.
- [27] (T.) GLAVIN, *The sixth extinction: journeys among the lost and left behind*, Thomas Dunne Books, 2007.

## Les territoires face au changement climatique

**Les actions d'atténuation du réchauffement atmosphérique et d'adaptation au changement climatique font intervenir de multiples acteurs : les organismes internationaux, les groupes d'Etats, les Etats, les régions, les communes, les syndicats intercommunaux, les ONG, les partis politiques, les syndicats, les banques, les compagnies d'assurances, les chercheurs, les entreprises multinationales, les PME et les PMI, la grande distribution, les transports, les médias et les citoyens...**

par Martine TABEAUD\*

Tous n'interviennent pas aux mêmes échelles (du local au mondial) et tous ne sont pas toujours reconnus en tant qu'acteurs. Pourtant, toute action d'adaptation et d'atténuation doit nécessairement concilier leurs aspirations, parfois divergentes, et donc s'inscrire dans un espace habité et exploité, approprié et administré, où se développent une identité, une culture, une socialisation permettant au groupe d'exister : en un mot, un « territoire ».

### **Bien que partagée par tous les hommes, la planète ne constitue pas pour autant un « territoire »**

La mobilité de l'atmosphère distribue la pollution, qui ne s'arrête pas aux frontières, si bien que les gaz ayant entraîné le réchauffement sont présents partout, y compris dans les glaces de l'Antarctique... De ce constat semble avoir découlé une volonté de réponse mondiale au réchauffement du climat planétaire.

A partir des années 1970, les idées des grandes organisations non gouvernementales (ONG) environnementalistes se sont fait entendre, au point d'infléchir les politiques de nombreuses institutions. Leur place a été croissante dans les conférences internationales (2 400 représentants, à Rio, en 1992, et 7 000, à Johannesburg, en 2002). Le Grenelle de l'Environnement les a positionnées à l'égal d'experts. Puissantes par le nombre de leurs adhérents et par leurs ressources supérieures à celles de bien des États, elles jouent le rôle de courroies de transmission entre les organisations internationales et les gouvernements, de médiatrices entre États, de consultantes ou de groupes de pression. Internationales, leurs causes ne peuvent qu'être universelles (« *action rapide et concrète en faveur de la protection du climat* » (World Wildlife Fund, WWF), « *Faites un geste pour la planète* » (WWF), « *Protégeons la biodiversité* » (Greenpeace)... En matière de climat, leurs mots d'ordre ont clairement situé le débat à l'échelle de la planète, dans l'intérêt des générations futures, pour la survie de l'humanité..., puis pour celle de la Terre. Elles insistent sur un sombre avenir pour tous et, pour renforcer cette unité des humains, elles

parlent de pays « mal développés » (par référence aux pays « sous-développés »).

Ce faisant, elles réinterprètent, à leur manière, les résultats obtenus par des chercheurs en climatologie. En 2007, l'attribution du Prix Nobel de la Paix, conjointement à Al Gore et au GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat), a souligné l'importance de ce dernier. Créé en 1988, il rassemble des experts nommés par les gouvernements. Ses rapports de synthèse périodiques (1) évaluent « *les informations d'ordre scientifique, technique et socio-économique nécessaires pour comprendre les fondements des risques liés au changement climatique d'origine humaine, cerner les conséquences possibles* » (introduction du rapport 1990). Trois groupes de travail ont été mis en place : le Groupe I fait le point sur l'évolution du climat, le Groupe II traite de la vulnérabilité des systèmes socio-économiques et naturels, des conséquences des changements et des possibilités de s'y adapter et le Groupe III réfléchit aux solutions susceptibles de limiter les émissions de GES ou d'atténuer de toute autre manière les changements climatiques. Grâce à ses rapports et, surtout, à leurs résumés destinés aux décideurs, le GIEC définit la teneur des problèmes climatiques. Dans les premiers rapports (de 1990 et 1995), c'est le groupe I (celui des climatologues) qui a eu la plus forte audience et ce sont ses conclusions sur le réchauffement attendu aux horizons 2049, 2099, etc., qui ont été le plus largement reprises. D'où l'accent mis actuellement sur l'atténuation du réchauffement. Certes, l'adaptation devait être traitée par le groupe II, mais celui-ci s'est concentré sur l'évaluation des impacts. En dehors des chercheurs en sciences « dures », les macro-économistes ont acquis un poids important dans le GIEC, car aucun futur ne peut être modélisé sans perspectives en matière de démographie, de choix de production, de consommation, etc. L'appréhension de la problématique est donc délibérément planétaire.

Dès 1989, le changement climatique entre dans le champ politique, avec son inscription à l'ordre du jour de la réunion du G7 à Paris. A l'Assemblée générale des Nations Unies, il est présenté comme un « enjeu commun de l'humana-

nité». Une nouvelle étape est franchie avec la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC), adoptée à Rio de Janeiro en 1992, laquelle reconnaît l'importance de la préservation du climat. Puis le Protocole de Kyoto, en 1997, fait de l'atténuation (du réchauffement climatique) un engagement juridique imposant aux pays industrialisés des limites en matière d'émissions de GES (gaz à effet de serre). En 2008, 181 pays avaient ratifié ce Protocole, ce qui les place clairement dans une stratégie d'atténuation visant à « ne pas dépasser un certain seuil de dangerosité » (article 2).

L'Europe y a vu une possibilité d'établir un leadership sur la scène internationale. S'appuyant sur sa bonne réputation en matière environnementale, elle s'est attachée à diffuser

à ce secteur une virginité environnementale qu'il avait perdue après la catastrophe de Tchernobyl, cela permet de défendre les intérêts économiques de l'entreprise Areva. Par ailleurs, la lutte contre le réchauffement climatique par le biais de politiques d'atténuation fournit une solution pour tous les humains, qui ne peut que plaire au pays de la Déclaration universelle des droits de l'homme.

Mais ni le GIEC, ni l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale), ni le PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement) n'ont la possibilité de faire appliquer universellement des décisions en matière de lutte contre la pollution atmosphérique. D'ailleurs, de nombreuses voix s'élèvent, dans le monde entier, pour critiquer ce « langage du Nord », en particulier dans les pays en développement, qui y



© Danny Gys/REPORTERS-REA

« L'Europe y a vu une possibilité d'établir un leadership sur la scène internationale. S'appuyant sur sa bonne réputation en matière environnementale, elle s'est attachée à diffuser le principe de précaution et a joué un rôle majeur dans les négociations de Kyoto. » Conférence de presse de la Commission européenne sur l'énergie et le changement climatique. Bruxelles, 23 janvier 2008.

le principe de précaution et a joué un rôle majeur dans les négociations de Kyoto. Plus tard, le retrait des Etats-Unis en 2001 lui a fourni, en même temps qu'un argument identitaire, l'occasion d'assumer la *pole position* environnementale de la planète. L'influence des écologistes et le profil énergétique de l'Europe expliquent son positionnement en faveur des politiques d'atténuation. La France et l'Allemagne jouent le rôle de locomotives en s'engageant sur des objectifs très ambitieux (réductions des émissions de 50 %, d'ici à 2050). En France, l'option de l'atténuation est facilitée par l'importance de la production d'électricité d'origine nucléaire, qui ne dégage pas de GES. En redonnant

voient une entrave majeure à leur développement, et tentent de se faire entendre en matière de transferts de technologie. Les pays producteurs de pétrole en profitent pour ne pas s'engager sur des objectifs de réduction. De toute façon, le démarrage difficile du marché international du carbone (du type Kyoto) a un effet démobilisateur. L'atténuation se heurte aux besoins accrus en énergie des pays émergents et à la volonté de ne pas entrer en récession, du fait de la décroissance qui pourrait l'accompagner. Enfin, même en Europe, sous couvert d'une unité qui n'est, en réalité, que de façade, les pays agissent en ordre dispersé. Leurs stratégies nationales d'indépendance énergétique

conduisent à des choix non partagés (France/Allemagne en ce qui concerne le nucléaire, accords bilatéraux avec Gazprom passés par des groupes pétroliers italiens ou allemands). Dans un contexte économique morose avec un fort taux de chômage, des stratégies à l'horizon de deux – voire trois ou quatre – générations apparaissent trop lointaines pour répondre aux attentes du moment.

Le succès de l'atténuation sur le plan des principes s'explique par le fait que la globalisation de la lutte contre l'effet de serre place l'humanité tout entière dans une position simpliste de responsable et de victime. Dans un tel cas de figure, les sociétés sont indifférenciées et les pays riches assument *a minima* leur responsabilité historique, tout en s'assurant de la pérennité de leur suprématie internationale, avec une aide, là encore, *a minima* allouée aux

pays qui bien que n'ayant pas contribué à modifier l'atmosphère, doivent quand même participer à l'effort collectif. Avec ces stratégies, la planète est pensée comme un territoire, ce qu'elle n'est pas. Si elle est, certes, habitée et exploitée, elle est appropriée et administrée par de nombreuses structures aux intérêts divergents, ce qui entrave le développement d'une identité unique, d'une seule socialisation, qui permettraient l'instauration d'une réelle solidarité et d'une réelle culture de groupe.

### **Les vulnérabilités des différents lieux sont très hétérogènes**

Progressivement, la mise en avant des conséquences du changement climatique va changer la donne. Quelques lieux emblématiques vont catalyser les discours sur les conséquences de la hausse du niveau marin sur des milieux



© Jeremy Horner/PANOS-REA

« Quelques lieux emblématiques vont catalyser les discours sur les conséquences de la hausse du niveau marin sur des milieux naturels fragiles (les îles coralliennes) ou très peuplés (delta du Gange – Brahmapoutre)... » Le delta du Gange, Bangladesh, 1<sup>er</sup> août 2003.

naturels fragiles (les îles coralliennes) ou très peuplés (delta du Gange – Brahmapoutre) et sur la fonte de la banquise, qui met en péril la civilisation des Inuits. La peur ancestrale du « Déluge » met en lumière l'inégalité des humains face aux risques climatiques. Les plus exposés aux aléas climatiques et les plus pauvres sont les plus vulnérables. Cette prise de conscience s'est traduite par la création, à Marrakech, d'un Fonds spécial destiné à financer des actions dans les pays en développement (PED), une création complétée ensuite (en 2004 et 2005) par l'adoption du *Buenos Aires Programme of Work on Adaptation Response Measures*. Le montant – ridicule – de ce fonds (2) est de l'ordre de 600 millions d'euros. L'OCDE (depuis 2005) et le Fonds pour l'environnement mondial (géré par la Banque mondiale, avec le Programme de Nairobi et

la Déclaration de Bali) insistent sur les incidences des changements climatiques, sur la vulnérabilité et l'importance de l'adaptation, et ils ont entrepris d'aider les PED à évaluer les impacts, leur vulnérabilité et les modalités de leur adaptation aux changements climatiques. Le Secrétaire général de l'Onu Ban Ki Moon l'a confirmé, le 29 septembre 2008, devant l'Assemblée générale des Nations Unies : « Des pays tels que le Bangladesh, Cuba, la Jamaïque, Madagascar et les Philippines ont montré que des bâtiments bien conçus, une utilisation appropriée des terrains, une formation du public, une préparation des communautés et des systèmes d'alerte efficaces peuvent réduire l'impact des pires événements météorologiques ». Cette re-découverte des lieux et des inégalités de vulnérabilité qui créent des risques, s'est ensuite propagée aux pays riches. Ils ont été aidés, en cela, par le rapport Stern, qui (en 2006) quantifie les surcoûts de l'adaptation en fonction de hausses possibles de la tempé-

ration. Les mesures d'adaptation pourraient coûter l'équivalent de 20 % de la performance économique mondiale. Pour maîtriser ces coûts, la communauté internationale doit se fixer des objectifs d'adaptation. Le fait d'agir dès maintenant permettrait des économies dans l'avenir. Ce rapport, bien que contesté, a donc mis l'adaptation sur le devant de la scène.

Le risque climatique, grâce aux vulnérabilités, redevient pluriel. Tant que l'action se réduisait à l'aléa, la solution était la même, pour tous... En 2004, l'Agence européenne pour l'environnement (AEE) met en avant la nécessité de disposer de stratégies d'adaptation aux niveaux européen, national, régional et local. L'Union européenne, dans son Livre vert, examine les éléments de la stratégie d'adaptation à toutes les échelles, car les effets du réchauffement varieront d'une région à l'autre, selon « la vulnérabilité physique, le niveau de développement socio-économique, la capacité d'adaptation de la population et du milieu naturel, les services de santé et les mécanismes de surveillance des catastrophes »... Les actions doivent être menées « au niveau le plus adapté », elles doivent être complémentaires et s'appuyer, pour cela, sur des partenariats. Les compétences sont réparties de manières très diverses, entre les États centraux et leurs régions, dans les différents pays de l'UE. Les répercussions des changements climatiques ne s'arrêtent pas aux frontières administratives : les changements urbains nécessitent de travailler à l'échelle des agglomérations ; les inondations, les pollutions fluviales – à l'échelle des bassins versants, etc. L'adaptation est, pour une large part, une question de cohérence politique entre des actions menées à des échelles différentes. Certes, l'Union européenne soutient des projets qui sont nécessairement territorialisés, mais leur contenu n'est pas complètement de son ressort.

La loi du marché impose à certains secteurs économiques des actions d'adaptation au changement climatique. Toutes les entreprises sont vulnérables, puisque leurs établissements sont disséminés sur plusieurs territoires (la localisation de la matière première décide du lieu d'extraction, le bassin de main-d'œuvre du lieu de production, etc.). Mais elles cumulent leurs vulnérabilités avec celles du marché. En effet, si une grande entreprise est montrée du doigt (sur Internet, par exemple) au motif qu'elle ne respecte pas l'environnement, elle risque un boycott de ses produits par les consommateurs et la dégringolade de ses bénéfices. D'ailleurs, les entreprises, pour la plupart, affichent plus ou moins leur intérêt pour le développement durable (ainsi, Lafarge vante son partenariat avec WWF, tandis qu'Areva « fait du développement durable la clef de voûte de sa stratégie industrielle »). Ces annonces ne sont pas toujours incompatibles avec le recours à des paradis fiscaux, voire à des paradis « environnementaux », aux législations particulièrement tolérantes en matière de pollution. Parfois assimilables aux principes quantitatifs de la recette du « pâté d'alouette », ces engagements sont, souvent, des réponses aux exigences de certains clients, qui contraignent les entreprises à respecter l'environnement. Le secteur automobile pourrait en constituer un bon exemple, avec sa course « à mort » vers la voiture propre. La réactivité des entre-

prises, diverses de par leur taille, leur activité et leur volontarisme « vert », oblige à repenser la complémentarité entre atténuation et adaptation au changement climatique. Inventer un nouveau moteur qui émette moins de GES, c'est faire de « l'atténuation », et si ce moteur sert à actionner une pompe pour assécher un marais, c'est une action « d'adaptation »...

Progressivement, le principe d'actions d'adaptation a émergé, tout comme la prise de conscience que l'adaptation ne va pas de soi et qu'elle a besoin d'accompagnements (financier, administratif, etc.). Mais la manière analytique d'envisager les conséquences par thème (comme par exemple, celui de la biodiversité), par activité ou par filière (la viticulture, la gestion forestière, etc.), ne facilite pas les synthèses territorialisées.

### **L'adaptation territorialisée impose une approche intégrée**

Le dispositif de « mise en adéquation » à la nouvelle donne intègre une acclimatation graduelle à la hausse de température et aux modifications des précipitations (rythmes, intensités, cumuls) et la nécessité d'une capacité à supporter des phénomènes extrêmes d'une amplitude jamais enregistrée, et donc difficiles à imaginer. L'aléa climatique n'est pas connu dès maintenant dans son intégralité, et il se modifie en permanence. L'adaptation ne peut donc se décliner qu'au pluriel. Comme le futur intègre des évolutions lentes et des événements brutaux, l'adaptation doit concilier des mesures actives anticipatoires, en réponse à l'évolution attendue (des aménagements, par exemple) et des mesures réactionnelles correctives à prendre lors de la survenance de crises, d'événements « exceptionnels ». Ces mesures (publiques et privées) doivent être planifiées, afin d'en abaisser les coûts et de les rendre compatibles avec des intérêts collectifs. Cette projection dans le futur répond à des choix pour lesquels le savoir-faire existe, d'autant plus que les techniques ont évolué (la pelleteuse a remplacé la pelle pour creuser des canaux, le bulldozer est plus efficace que le panier pour construire des digues, la pompe électrique s'est substituée au moulin à vent, pour évacuer de l'eau).

De plus, le changement n'aura pas seulement des impacts négatifs (canicule, pluies diluviennes, inondations dévastatrices, guerres de l'eau, réfugiés climatiques, etc.), contrairement à l'image catastrophiste que véhiculent les médias. Les revendications des gouvernements riverains de l'Arctique ont montré certains avantages économiques potentiels liés au réchauffement. Ces avantages existent presque partout, à condition de choisir de regarder « le verre à moitié plein » : diminution des besoins en chauffage, nouvelles aires attractives pour les touristes en été... S'acclimater signifie maximiser les bénéfices : introduction de nouvelles cultures, de nouvelles espèces, élargissement des aires de répartition... Selon les parcelles, les types d'habitat, les fonctions, des actions plus ou moins volontaristes pourront être engagées (voir le tableau n°1). Enfin, le changement climatique, s'il diminue la charge supportable par certains territoires, en libère d'autres ; il y a donc matière à repenser les blocages

que de nombreuses autorités opposent d'ores et déjà aux déplacements de certaines populations.

Seul un diagnostic territorial aboutissant à une gouvernance permet une prise en compte de tous les enjeux. Bien des crises sont simplifiées par la surdétermination du facteur climatique par rapport aux facteurs sociaux et politiques – un bon exemple en est l'épidémie de paludisme survenue en Ouganda en 1994 (3). Pour démêler l'écheveau des facteurs précurseurs, des facteurs aggravants et des facteurs déclenchants, il convient de prendre en considération plusieurs secteurs simultanément, en ayant une finalité plus large que le seul climat, à savoir celle du développement durable. Une mesure adoptée pour le climat est, en effet, susceptible d'accroître une autre forme de vulnérabilité d'un territoire ou contribuer à le disqualifier. La synthèse des enjeux concernant un territoire donné se traduit dans un projet collectif, porté par ceux qui y habitent, y travaillent, y circulent, y consomment... A chaque option retenue par le groupe, doivent répondre une décision collective et des investissements *ad hoc*. Au cours des siècles passés, ces choix successifs ont pu commander des actions opposées, sur un même territoire (par exemple, des décisions de poldérisation ou, au contraire, de dé-poldérisation). Toute l'Histoire montre que les adaptations ne peuvent être que temporaires et réversibles, sur le moyen terme et sur le long terme, parce que le monde évolue et qu'en conséquence, une solution d'aujourd'hui sera rendue obsolète par de nouvelles technologies, une démographie modifiée, etc. Le développement durable n'est pas écrit : il se construit et se reconstruit en permanence.

### L'adaptation territorialisée passe par des processus de gouvernance déconcentrée

Lorsqu'une collectivité territoriale, y compris l'Etat, décide de mener à bien un projet d'aménagement et de déve-

loppement sur son territoire, elle implique de multiples acteurs, qui disposent d'une boîte à outils comprenant :

- ✓ l'incitation, qui passe par la fiscalisation décrétée ou votée par les Etats, les régions, les collectivités territoriales, et par l'éducation (que prodiguent l'Etat, les collectivités, les ONG, les enseignants, les citoyens, les médias) ;
- ✓ la réglementation, avec l'État et les collectivités territoriales, qui fixent des politiques publiques au moyen de documents de zonage (opposables ou non), tels que les PADD (plans d'aménagement et de développement durable), les PPR (plans de prévention des risques) et les PLU (plans locaux d'urbanisme) ;
- ✓ l'innovation, grâce aux chercheurs, aux inventeurs, aux *managers* d'entreprises et aux ingénieurs, qui apportent des réponses à la satisfaction de nouveaux besoins ou développent des processus plus « économes », plus « écologiques », etc. ;
- ✓ la réparation, dont les acteurs majeurs sont les employés des assurances, mais aussi les entreprises, dont les interventions impliquent les ouvriers comme les directeurs, en passant par les commerciaux, les ingénieurs, etc. ;
- ✓ la gestion de crise relève, quant à elle, du maire, du préfet de département, du préfet de zone et de région (plan ORSEC), du ministre de l'Intérieur (prise d'arrêtés reconnaissant un état de catastrophe naturelle), des services opérationnels permanents, tels que les services départementaux d'incendie et de secours (SDIS), les services médicaux d'urgence, les médias, les ONG locales et, enfin, des citoyens (résidents, commerçants, touristes, employés non résidents, etc.).

La mobilisation efficace d'acteurs de cultures aussi différentes est une affaire de reconnaissance d'autrui en tant qu'acteur, d'écoute réciproque, de controverses, de conflits, d'arbitrages, bref : de gouvernance. L'environnement joue un rôle « d'avant-garde » dans la modernisation des formes

ATTITUDES	STRATÉGIES	EXEMPLES	TEMPS de mise en œuvre
FAIRE FACE	(-) Laisser faire ABANDONNER.	Polders ré-envahis par la mer, retour aux marais littoraux	Immédiat
	(+) Limiter les pertes PROTÉGER.	Rehausser les digues, bâtir des épis pour empêcher les inondations	De plusieurs mois à plusieurs années
PRÉVENIR	(-) Partager les pertes ASSURER.	Surtaxer partiellement, si le risque est élevé, mais mutualiser les pertes	Plusieurs années
	(+) Délocaliser hommes et activités DÉPLACER	Raser des maisons et reconstruire ailleurs	Plusieurs mois pour raser, plusieurs décennies pour restructurer
VALORISER	(-) Créer de nouvelles activités MUTER.	Cultiver la vigne en Normandie, au lieu des pommiers	Se réalise au fur et à mesure, avec, au plus, un décalage de plusieurs années
	(+) Augmenter les gains S'ENRICHIR.	Innover, Investir	De plusieurs années à plusieurs décennies

Tableau 1. Résumé des différentes stratégies d'acclimatation.

DÉCISION	CENTRALISÉE	DÉCENTRALISÉE
Problème	Connu, y compris ses solutions	Recadrer en contextualisant (lieu, histoire)
Méthodes de diagnostic	Modèles, virtuel	Concret, expérimentation
Moyens	Recherche de normes, de lois universelles	Raisonner sur des processus territorialisés spécifiques
Acteurs	Grandes instances inter- ou multinationales, Etats	Tous acteurs, y compris les <i>quidams</i>
Politique	Sectorielle	Intégrée (globale au sens français du terme)
Echelles	Planète, groupe d'Etats, Etats	Territoire pertinent
Processus	Technico-administratif	Concertation/acceptation par gouvernance
Objectifs	Survie de la planète, survie de l'humanité	« Viabilité » de chaque territoire, vivre ensemble
Pas temporel	Horizons lointains (2100) pouvant se rapprocher (2030)	Horizon proche, pouvant inclure des perspectives plus lointaines
Caractéristiques des actions	Résultats invisibles par un individu, le plus souvent irréversibles, quelles que soient les innovations	Résultats visibles et souvent réversibles avec les évolutions techniques, démographiques, etc.

Tableau 2. Résumé des deux pôles de méthodologie de la décision.

de démocratie, puisque coexistent des modes d'intervention traditionnels de l'État – de type *command and control* (interventions, réglementation, sanction) et des formes de participation à géométrie variable, selon la nature des problèmes en jeu et les contextes (voir le tableau n° 2). Construire des passerelles entre des univers qui ont tendance à s'ignorer suppose de replacer le citoyen et l'entreprise au cœur du système de décision, par l'adoption d'une procédure multi-acteurs décentralisée. Cela requiert un long apprentissage réciproque : de nombreux échanges, parfois conflictuels, des allers et retours sont nécessaires, avant d'arrêter un choix, quel qu'il soit. La lenteur du processus est compensée par son caractère motivant et son efficacité. De toute façon, aucune adaptation « durable » ne saurait reposer sur des décisions prises dans l'urgence. Si la recherche du consensus est souhaitable, elle n'exclut d'ailleurs pas, *in fine*, un arbitrage. L'approche territorialisée permet d'intégrer tous les objectifs, en recherchant des synergies et des compromis conjuguant entre eux non seulement des objectifs d'adaptation, mais aussi des objectifs de réduction des dépendances au moyen de la valorisation des ressources locales et d'économies, d'améliorations de l'environnement nécessaires au mieux-être, etc., qui ressortissent à l'action d'atténuation, voire à certains objectifs moraux (tels que le respect de la nature et le respect d'autrui) (voir le tableau 2).

Le passage par la territorialisation est donc obligatoire ; la décision d'action y gagne en objectivité, en croisant les subjectivités de chacun. Elle est légitimée par la délibération de tous, alors que les solutions « parachutées » peuvent être mal adaptées au contexte local, voire rejetées, faute d'être comprises. Ce sont donc les liens entre des niveaux imbriqués les uns dans les autres qui importent. En Europe, les méthodologies de décision sont plus ou moins décentralisées. Par exemple, la culture du risque existe depuis plusieurs siècles aux Pays-Bas, où le maintien d'un haut niveau

de vie sur un territoire exigü a supposé de partager la responsabilité d'un effort concerté et gigantesque. Dans d'autres pays, ces savoirs et ces savoir-faire n'existent que localement, pour certains risques localisés (avalanches en montagne, inondations, envasement de fond de baie côtière, etc.).

### Conclusion générale

Les problèmes environnementaux qui se posent aux sociétés ne ressemblent pas aux problèmes de mathématiques ou de physique ayant une solution unique. En sciences sociales, certaines solutions qui rencontrent des obstacles dans leur application, peuvent aggraver le problème, au lieu de contribuer à le résoudre. Plutôt que de chercher LA solution, il est nécessaire d'explorer le problème souvent mal posé, afin de le reformuler : ici, il convient de « s'adapter » au changement climatique, de « vivre avec », et non de « lutter contre ».

Face au changement, envisager que tous les individus et tous les groupes humains ont et auront un comportement vertueux relèverait de l'utopie, en l'absence de toute instance mondiale coercitive. Moins ambitieuse, l'adaptation implique chacun dans son propre voisinage immédiat, dans son territoire. Elle se construit à partir d'une conciliation entre des égocentrismes multiples. Pragmatique, elle envisage les individus et les groupes sociaux tels qu'ils sont, y compris avec leur syndrome « NIMBY » (« *Not in my Backyard !* », « Pas dans mon jardin ! »). Les micro-acteurs participent donc de manière consciente à une macro-action de réduction du risque futur.

Cette action locale n'exclut en rien la solidarité envers les pays pauvres, ni envers les régions les plus exposées. La justice sociale impose des transferts de technologies, des transferts de capitaux, etc. (même si les pays riches ont déjà bien du mal à financer l'objectif du millénaire,

consistant à réduire de moitié la pauvreté dans le monde...).

### Notes

\* Université Paris Panthéon Sorbonne, UMR CNRS ENEC.

(1) Années 1990, 1995, 2001, 2007.

(2) A comparer aux 470 milliards d'euros consacrés par le Gouvernement allemand au sauvetage de ses banques, aux 360 milliards en France, aux 200 milliards aux Pays-Bas ou aux 200 milliards en Italie, etc.

(3) Alors que la température est restée stable, l'émigration de populations fuyant les massacres du Rwanda a conduit à défricher, puis à cultiver des fonds de vallée autrefois occupés par des marais à papyrus. Comme ces derniers empêchaient le renouvellement des moustiques, la malaria n'y sévissait pas, faute de vecteur du parasite pathogène ; ce n'est donc pas le changement climatique qui a élargi l'aire de répartition de cette maladie, dans cette région du monde.

### Bibliographie

ARNOULD (Paul), *Entreprises et développement durable : une relation ambiguë*, *La Revue des Deux Mondes : Le développement durable, une idéologie ?* 2007.

BREDIF (Hervé), *La qualité comme moyen de repenser le développement durable d'un territoire*, *Espaces-temps*, 2008. <http://espacestemp.net/document5213.html>

BREDIF (Hervé), 1999, *Le vivant, les hommes et le territoire, Essai de bio-géopolitique*, thèse de doctorat, deux tomes, 2004.

BADIE (Bertrand), *Un monde sans souveraineté*, Fayard, 306 p., 1999.

DAHAN DALMEDICO (Amy) & GUILLEMOT (Hélène), *Changement climatique : Dynamiques scientifiques, expertise, enjeux géopolitiques*, *ScienceDirect*, 21 p., 2006. [http://math.unipa.it/~grim/dott\\_HD\\_MphCh/Dahan\\_Changement%20climatique\\_06.pdf](http://math.unipa.it/~grim/dott_HD_MphCh/Dahan_Changement%20climatique_06.pdf)

DENIS (Benjamin), *La gouvernance mondiale de la préservation de l'environnement : acteurs non étatiques et processus politique international lié au réchauffement de la planète*, *Cahiers d'anthropologie du droit*, pp. 66-122, 2005.

GODARD (Olivier) & HOMMEL (Thierry), *Les multinationales, un enjeu stratégique pour l'environnement et le développement durable ?*, *Revue internationale et stratégique* – 4 N°60, pp. 101-112, 2005.

LAMARRE (Denis), *Climat et risques, nouvelles approches*, 2008, Lavoisier, 170 p., 2008.

LEFEVRE (Mathias), *Les firmes multinationales face au risque climatique : sauver le capital en sauvant la terre*, *Vertigo*, vol. 5, n°2, 13 p., 2004. [http://www.vertigo.uqam.ca/vol5no2/art6vol5no2/vertigovol5no2\\_lefevre.pdf](http://www.vertigo.uqam.ca/vol5no2/art6vol5no2/vertigovol5no2_lefevre.pdf).

ROQUEPLO (Philippe), *L'effet de serre est-il politiquement gérable ?*, *Futuribles*, n°224, pp.17-32, 1997.

SMITH (Joel), BHATTI (Neeloo), MENZHULIN (Gennady), BENIOFF (Ron), BUDYKO (Mikhail), CAMPOS (Max), JALLOW (Bubu) & RIJSBERMAN (Franck), *Adapting to climate change – assessments and issues*, Springer, 476 p., 1996.

VALANTIN (Jean-Michel), *Menaces climatiques sur l'ordre mondial*, Lignes de repères, 158 p., 2005.

## Des événements naturels extrêmes aux figures de la catastrophe

Les grands événements climatiques occupent une place privilégiée parmi les mythes sur la naissance et la destruction du monde. Le déluge de la Bible a son équivalent dans toutes les religions. Il n'est donc pas surprenant que l'annonce du changement climatique provoque une véritable renaissance des prédictions apocalyptiques au sens propre, c'est-à-dire de révélations...

par Paul-Henri BOURRELIER\* et Jean DUNGLAS\*\*

Dans cet article, nous partirons d'une expression couramment utilisée pour en débrouiller la signification et, à partir d'elle, nous tirerons le fil de la catastrophe.

### Les événements extrêmes

Les textes sur le changement climatique emploient très fréquemment le terme d'« événement extrême » (*extreme event*, en anglais). Mais, curieusement, aucune analyse n'en est généralement fournie. Le 4<sup>e</sup> rapport de synthèse du GIEC répare heureusement cette lacune en définissant l'événement météorologique (*weather event*) extrême comme « rare en un lieu et à un moment particulier de l'année » et en indiquant qu'il devient un événement climatologique extrême s'il persiste un certain temps, particulièrement s'il se traduit par une moyenne elle-même rare (1).

Cette définition ne précise pas la nature des « événements » pris en compte. La gamme des paramètres climatiques est large et inclut les températures saisonnières, la vitesse du vent, les précipitations, les déficits hydriques, les pointes de pollution, par exemple. Il n'y a pas de seuil ou de limite dans la durée : ainsi, une pluie intense peut correspondre à une précipitation produite en quelques minutes, une heure, ou une journée ; une sécheresse à un déficit d'eau durant un mois, une saison ou plusieurs années ; l'événement peut se produire abruptement, mais son déroulement peut englober des moments précurseurs et/ou des phases ultérieures longues. Par ailleurs, la même notion événementielle extrême s'applique aussi aux effets résultant des aléas : victimes corporelles et dommages, pandémies, disparitions d'espèces, impacts sur les écosystèmes, etc.

De même que dans d'autres domaines (l'état sanitaire, la Bourse, les paramètres de l'économie, par exemple), la façon opérationnelle d'aborder cette notion d'extrême consiste à suivre la série des valeurs de paramètres mesurés périodiquement. Les observations sont affectées d'aléas – des variations imputées au hasard ou à des causes inconnues. On peut alors dessiner le diagramme valeurs/fréquence (en

coordonnées logarithmiques, de préférence : on verra plus loin pourquoi) et caractériser comme extrêmes les événements correspondant aux extrémités de celui-ci (2).

Le poids des événements extrêmes dépend fondamentalement de la loi de distribution statistique. Si celle-ci est une courbe en cloche classique du type de celle de Gauss (3), les événements deviennent extrêmement rares dès lors que l'on s'écarte notablement de la valeur moyenne, si bien que l'indicateur « intensité x probabilité » chute rapidement ; il est alors raisonnable, pour traiter le risque, de prendre en considération l'ensemble des événements courants et extrêmes, en négligeant ceux qui seraient absolument exceptionnels. Mais il existe aussi des distributions non gaussiennes, représentées par des « lois de puissance », telles que l'intensité des événements extrêmes s'accroît au point de compenser la diminution de leur probabilité – le couple « intensité x probabilité » ne diminue que lentement lorsqu'on se déplace vers la « queue » de la courbe. Il y a même des distributions telles qu'un seul événement exceptionnel nouveau peut être plus important que tous les événements (courants et extrêmes) observés jusqu'alors.

Certaines observations et la répétition des crises laissent à penser que ces distributions menaçantes des extrêmes se présentent plus souvent qu'on ne le croit (4). Il convient donc de surveiller ces « queues de distribution », en mesurant la pente de la courbe, qui permet, de façon simple, de faire la discrimination.

### Changement et aléas climatiques

Certains aléas naturels, météorologiques et climatiques notamment, (ou leurs impacts) sont-ils à classer dans la catégorie des extrêmes les plus menaçants ? Oui, sans doute, si l'on se réfère au passé (5). Mais la difficulté pour les caractériser réside actuellement dans la méconnaissance, très fréquente, des « queues de distribution », constituées par des événements rares et intenses. Pour en avoir une représentation significative, il faudrait disposer d'observations sur une longue durée, ce qui supposerait, à la fois, que

les conditions aient été stables et que des mesures d'une qualité appropriée aient été réalisées. Mais ces deux exigences sont rarement respectées, parce que l'instrumentation précise est récente (il en est ainsi de tout ce qui est obtenu par télédétection) et/ou parce que les conditions ont changé. Toutefois, les reconstitutions de séries s'allongent et s'améliorent, grâce aux travaux des historiens et à des techniques modernes d'investigation et de datation, qui permettent en outre des rapprochements avec les catastrophes des époques anciennes, voire des ères géologiques (6).

Notre attention est actuellement focalisée sur l'évolution séculaire provoquée par l'augmentation (continue depuis la révolution industrielle) des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Cet effet de « forçage » se superpose à ceux résultant de cycles de longue durée (se comptant en dizaine de milliers d'années) produits par l'évolution astronomique des positions relatives de la Terre et du Soleil, des cycles plus courts des émissions solaires (le principal étant d'une durée de l'ordre de onze ans), et, enfin, des oscillations océaniques (avec une périodicité de 60-70 ans, à laquelle s'ajoutent des périodicités de quelques années).

En réalité, il y a encore d'autres effets à identifier car, après être partis des systèmes météorologiques fondés sur les paramètres physico-chimiques de l'atmosphère couplés avec ceux des océans, nous devons également intégrer non seulement les systèmes hydrologiques, pour lesquels de nombreux problèmes ne sont pas encore complètement résolus (7), mais aussi les systèmes continentaux, beaucoup plus morcelés, avec des constantes de temps d'évolution beaucoup plus longs (à l'aune de phénomènes comme l'érosion, les dépôts sédimentaires, la tectonique des plaques et les systèmes biologiques) (8).

L'ouverture de l'éventail des temps est impressionnante et le choix de l'échelle temporelle peut changer considérablement les perspectives : à une échelle suffisante, l'émission de CO<sub>2</sub> peut être considérée comme une simple « bulle », qui n'aura duré « que » trois siècles, le temps d'exploiter les ressources énergétiques fossiles de la planète ; l'oscillation climatique se prolongera, quant à elle, sur quelques milliers d'années et s'achèvera sur un retour aux mouvements antérieurs, en laissant des traces, comme des dépôts carbonatés au fond des océans et une accentuation temporaire de la disparition d'espèces.

On voit combien la description de ces variations spatiales et temporelles se complexifie au fur et à mesure que l'analyse devient plus fine et que les modèles intègrent des phénomènes de plus en plus nombreux. Mais c'est au prix de cette complexification que l'on obtient une meilleure coïncidence entre les valeurs produites par les modèles et les données résultant d'observations passées.

L'hypothèse de stationnarité climatique (utilisée de manière sous-jacente pour définir et quantifier les aléas) apparaît donc simplificatrice et, au fond, peu pertinente. En effet, le cours du temps se traduit à la fois par des dérives continues et des cycles, d'un côté, et des moments singu-

liers, des « événements », ruptures et bifurcations, de l'autre (9).

### **Des aléas climatiques extrêmes d'une nature inédite**

Dans quelle mesure le changement climatique peut-il modifier les aléas extrêmes, voire en créer de nouveaux ? Il convient, pour répondre à cette question, de distinguer entre trois catégories de phénomènes, de nature différente :

■ **Les valeurs extrêmes des paramètres climatiques.** Celles-ci varieront, dans chaque zone, de la même manière que les valeurs moyennes, avec un facteur correctif correspondant à l'évolution de la variabilité. Ainsi, pour prendre l'exemple le plus simple, l'augmentation moyenne de la température provoquerait un décalage équivalent des extrêmes de chaleur, si la variabilité ne changeait pas. **La canicule de 2003 à Paris, qui a été classée comme événement extrême, deviendrait courante en 2100, tandis que serait considéré comme événement extrême le genre de canicule qui menace aujourd'hui des villes (françaises) plus méridionales. A l'inverse, les aléas de froid seraient moins sévères.**

Cependant, certaines études (comme par exemple, en France, celle de l'IMFRET) tendent à accréditer la possibilité d'un accroissement de la variabilité climatique et, donc, d'une augmentation plus importante des températures extrêmes d'été, et d'une moindre réduction des froids extrêmes.

Ces extrêmes apparaissent ainsi comme des précurseurs ou des révélateurs des modifications moyennes : ils anticipent (ou ils concrétisent, subitement) de lents processus de destruction et d'adaptation. Ainsi en est-il de l'intensification des épisodes de sécheresse dans les pays du pourtour méditerranéen, qu'annoncent les modèles climatologiques.

■ **Les « risques naturels » classiques, tels que les tempêtes et les cyclones, les pluies intenses et les crues, la submersion des rivages et l'érosion marine, les avalanches, certains mouvements de terrain, etc.** Ces phénomènes résultent d'une dissipation, subite et chaotique, d'énergie accumulée, dont une représentation analogique simple peut être fournie par le déclenchement inopiné d'avalanches sur la pente d'un tas de sable, sur lequel on verse continuellement des grains (10). On doit, le plus souvent, recourir à l'échelle logarithmique pour en mesurer l'intensité, ce qui laisse suspecter que les extrêmes destructeurs suivent parfois une distribution non gaussienne.

L'effet du changement climatique global sur ces événements n'est pas clair ; il ne peut être évalué, pour chaque phénomène, qu'en établissant des modèles à une échelle appropriée et en reconstituant des événements anciens.

Ainsi, l'impact du changement climatique sur les cyclones tropicaux fait l'objet d'une controverse, que reflète le dernier rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC). Certes, l'augmentation de la température de surface des océans est favorable à une cyclogenèse intensive, mais les estimations de la fréquence annuelle des ouragans et de leurs changements



© Yan Arthus-Bertrand/ALTITUDE

« En France métropolitaine, le risque de grandes crues débordantes pourrait se réduire, mais des crues rapides, sur de petits bassins, pourraient devenir plus fréquentes... » Paysage inondé par la Saône, entre Lux et Saint-Loup-de-Varenne, Saône-et-Loire.

possibles de trajectoire et d'intensité dépendent du type de modèle utilisé. Les résultats obtenus sont souvent contradictoires, en particulier dans le cas de l'Atlantique nord.

En France métropolitaine, le risque de grandes crues débordantes pourrait se réduire, mais des crues rapides, sur de petits bassins, pourraient devenir plus fréquentes, tandis qu'un accroissement des teneurs en vapeur d'eau de l'atmosphère, consécutif à l'élévation des températures, peut laisser craindre des précipitations brèves de grande intensité, génératrices de ruissellements urbains extrêmes. Les aléas sur le littoral résultant des tempêtes, des vagues et des marées seraient accrus par la hausse continue du niveau de la mer.

Les feux de forêt et de brousse dépendent des quantités de biomasse sèche et du vent : tant l'intervention de l'homme (en particulier le manque d'entretien et le « mitage » des massifs forestiers résultant d'une urbanisation incontrôlée) que le changement climatique sont susceptibles d'en favoriser la multiplication.

■ De grandes ruptures, dont on soupçonne que la menace s'accroîtra si l'accumulation dans l'atmosphère de gaz à effet de serre se poursuit. La possibilité d'un emballement de l'effet de serre, en raison de la libération de grandes quantités de méthane retenues actuellement dans les zones du permafrost, ou encore de modifications importantes des grands courants océaniques, par suite de l'irruption de masses d'eau douce produite par la fusion accélérée de la couverture glaciaire du Groenland, sont ainsi souvent évoquées (11).

Ainsi, les répercussions du changement climatique sur les extrêmes sont différentes, et prévisibles à des degrés divers, en ce qui concerne ces trois catégories, mais elles sont toujours préoccupantes, ce qui justifie l'attention qui leur est portée par l'Académie des sciences et par le GIEC. L'adaptation (subie ou anticipée) en dépendra considérablement.

### Les figures de la catastrophe globale

C'est bien le paradoxe : aujourd'hui, les catastrophes « naturelles » sont les événements qui frappent le plus l'opinion. Pourtant, elles ne représentent rien de nouveau sous le soleil, et l'humanité est (en principe) mieux armée qu'elle ne l'a jamais été pour faire face aux menaces d'aléas extrêmes, tant que ceux-ci restent relativement ponctuels, d'une étendue géographique et d'une puissance limitées.

Mais l'image des catastrophes de l'histoire de la terre, des grandes extinctions, fonctionne comme un révélateur d'inquiétudes, de menaces cachées allant jusqu'à celle de la disparition possible de l'espèce humaine, tandis que l'inflation des indemnités versées par les assureurs pour les grandes catastrophes (une inflation bien supérieure, au cours des vingt dernières années, à la croissance des valeurs assurées) vient confirmer ces inquiétudes prémonitoires.

L'explication réside dans la vulnérabilité du système social, qui préside à la transformation de l'aléa en risque.

✓ Un cas exemplaire est celui du risque cyclonique sur les côtes de Floride et de Louisiane. Plusieurs ouragans,



© Yan Arthus-Bertrand/ALTITUDE

« Un cas exemplaire est celui du risque cyclonique sur les côtes de Floride et de Louisiane. [...] L'extension continue des constructions peu résistantes et l'afflux des retraités qui s'installent, expliquent l'explosion des dommages sur l'ensemble de la côte. » Key West, Floride, Etats-Unis.

comme celui de Katrina, sont déjà passés, au cours des deux derniers siècles, dans la région de la Nouvelle-Orléans ; l'urbanisation des zones basses, la ségrégation sociale, l'installation d'usines, le développement d'un réseau de digues plus ou moins bien entretenues sont les causes du dernier désastre (août 2005). L'extension continue des constructions peu résistantes et l'afflux des retraités qui s'installent, expliquent l'explosion des dommages sur l'ensemble de la côte. Comme le montrent Zajdenweber et Michel-Kerjan, le diagramme dommages/fréquence s'est transformé, dans sa partie extrême. Un accroissement de l'aléa extrême ajouterait un surplus de risques.

- ✓ Le problème de la santé face au risque d'épidémie n'est pas moins instructif, avec les effets de la multiplication des voyages et des transports, la densification des élevages et les modifications des milieux naturels.
- ✓ Un autre exemple typique de vulnérabilité, à une échelle encore jamais connue, est celui des mégapoles de certains pays pauvres du Sud ; et, même dans le monde riche, certains projets, lancés sans prise en considération très instrumentée des risques et de la fragilité des réseaux, ne peuvent qu'apporter du crédit à de sombres pronostics.

Les vulnérabilités systémiques sont la vraie cause des menaces qui pèsent actuellement sur l'avenir d'un monde globalisé, uniformisé et limité (12), qui ne peut assurer qu'à ce prix – et jusqu'à quand ? – la croissance de la population et un modèle de consommation gaspilleur : consommation

en énergie, réduction des surfaces arables, besoins en eau, atteintes à la biodiversité. Ce n'est pas que la société mondialisée soit frappée d'une malédiction malthusienne (car elle a la capacité technique d'y échapper) (13), mais elle se comporte comme une caisse de résonance de chocs qui, amplifiés par les mécanismes financiers et le comportement des médias, se propagent à grande vitesse, alors que l'adaptation indispensable est prise en charge par un monde désuni et trop lent à réagir. Gagnants et perdants ne mutualisent pas les impacts. Le spectre de futures migrations climatiques (pour partie, fantasmé, et pour partie, réaliste) crispe l'opinion et paralyse les décideurs.

Dans une telle situation, les aléas ne doivent plus être considérés de façon isolée. D'ailleurs, les actions de réduction des risques (qu'ils soient extrêmes ou ordinaires) comportent des aléas en ce qui concerne l'exposition, la résistance ainsi que le comportement des personnes et des biens, l'efficacité des protections, les vecteurs et l'étendue des menaces, le fonctionnement de l'alerte et l'acheminement des secours... Les accidents se produisent, soit lorsque l'intensité de l'aléa originel atteint un niveau d'intensité « anormal » (mais pas forcément extrême) (14), soit parce que des cibles (des personnes, des biens, certains éléments des écosystèmes) se sont trouvées exposées, affaiblies et mal protégées.

Les aléas climatiques extrêmes n'en demeurent pas moins, comme par le passé, des détonateurs particulièrement puissants et spectaculaires : ce sont des signaux avertisseurs.

## Une boîte à outils pour affronter les risques de catastrophes

Une pratique internationale (plus ou moins codifiée) de la gestion de risques naturels de dimension catastrophique s'est mise en place, depuis le lancement par l'ONU de la Décennie de la prévention, en 1990. Cette pratique repose sur une identification des risques et vise à en réduire les impacts grâce à un ensemble d'actions constituant la DRR (*Disaster Risk Reduction*), qui combine des actions de protection et d'atténuation, des actions de gestion de crise et des actions visant au renforcement de la résilience (15).

En matière d'aléas naturels bien identifiés et cartographiés, le choix peut idéalement comporter l'adoption (concertée, *via* un processus public de prise de décision) de mesures calées sur un aléa de référence. Le principe est de limiter l'exposition et la vulnérabilité à cet aléa (et aux aléas de moindre amplitude), tout en laissant à chacun ses responsabilités et la possibilité de mutualiser ses pertes résiduelles grâce à une assurance. Le risque de voir se produire un aléa (éventuellement extrême) d'intensité supérieure et donc plus dommageable, doit être pris en considération et être soit accepté, soit traité (16).

L'adaptation au changement climatique présente une composante commune avec la gestion des risques ainsi organisée. C'est là un fait admis, mais l'articulation exacte entre les deux reste à définir, car beaucoup d'actions d'adaptation ne reposent pas sur la prise en considération de risques et, par ailleurs, il existe des aléas naturels qui n'ont rien à voir avec le climat. Dans le domaine commun, il y aura lieu de distinguer, plus nettement que cela ne l'a souvent été fait par le passé, les adaptations aux changements courants, avec leurs risques (17), qui relèvent, pour l'essentiel, de la société civile (particuliers, professionnels, collectivités locales) et les risques extrêmes, qui doivent faire l'objet d'une gouvernance publique mondiale (18).

La réduction des aléas catastrophiques proprement dits est un des buts principaux de l'atténuation de l'effet de serre (19) : cette atténuation consiste en la diminution de la pression s'exerçant sur les ressources et les écosystèmes, grâce à des mesures de conservation et/ou d'aménagement et grâce, aussi, à des ruptures technologiques, concertées à l'échelle mondiale, à l'infléchissement de la croissance démographique et à l'éducation.

## Agir et prendre des initiatives en France

En constituant sa plateforme nationale de DRR et en collaborant avec ses partenaires (notamment européens), la France entend participer pleinement à la mobilisation mondiale. Elle a une tradition de l'action publique et une compétence à valoriser (mais aussi, certaines faiblesses à corriger) pour s'adapter aux nouvelles dimensions des menaces. Citons cinq domaines particulièrement significatifs, dans lesquels elle est bien placée pour prendre des initiatives :

- ✓ la vigilance (*Early warning*) : les services français de météorologie, de prévision des crues, de surveillance sismique et de veille sanitaire ont su innover, et ils sont à la

pointe. Il s'agit maintenant de passer à une vigilance universelle, démultipliée, en matière de risques extrêmes, dans l'esprit du « catastrophisme éclairé » proposé par le philosophe Jean-Pierre Dupuy, en réalisant une surveillance instrumentée et méthodique des aléas et des vulnérabilités extrêmes (20) ;

- ✓ la gestion des ressources, qu'il s'agisse de l'énergie, de l'eau ou du vivant ;
- ✓ l'aménagement du territoire et l'urbanisme, deux domaines délaissés depuis quelques décennies, mais dans lesquels la méthodologie française et la qualité des opérateurs professionnels restent de grands atouts. La relance qui semble se dessiner, dans le cadre des plans climat territoriaux, exigera la fédération des efforts des parties prenantes (urbanistes, architectes, industriels, collectivités et associations). La coordination des réseaux de services publics (électricité, télécommunications...) est également un thème essentiel, sur lequel la position française constitue une référence ;
- ✓ l'organisation des secours, du retour à la vie normale et de la reconstruction, domaines dans lesquels la Sécurité Civile est en pleine rénovation, et où les ONG humanitaires ont su se déployer de manière remarquable. Il s'agit maintenant d'organiser les actions d'avant-crise et d'après-crise, dans la continuité de la prévention et de la vigilance, en établissant une chaîne de coopération entre les forces publiques et la société civile ;
- ✓ enfin, le financement de la réparation : les compagnies d'assurances et la Mutualité françaises ont des positions très fortes, tandis qu'a été expérimenté, depuis 1982, un régime de partenariat public-privé. Ce sont là des bases permettant de lancer une grande initiative, visant à la création d'une garantie internationale (21).

Mais il faut aller au-delà de ces outils spécifiques : les catastrophes ont, en dernière analyse, une dimension morale : quelle société envisageons-nous, pour l'avenir ? Avec quelles solidarités, quelles valeurs ? La vague d'ouvrages à visée philosophique (voire, parfois, ésotérique) publiés tout récemment sur le temps des catastrophes (22) et la proclamation de la nécessité de nouvelles régulations constituent, à n'en pas douter, des signes d'un réveil salutaire.

## Notes

\* Ingénieur général des Mines.

\*\* Président de l'Académie d'Agriculture de France.

(1) Le GIEC vient de lancer la réalisation d'un rapport spécial sur les événements extrêmes, qui devrait être diffusé en 2012 et intégré à son 5<sup>e</sup> rapport (*Scoping Paper IPCC 31<sup>e</sup> session, 29 avril 2009 : Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*).

(2) La coupure intervenant, par exemple, dans le dernier décile ou dans le dernier centile, les coordonnées logarithmiques permettent de représenter un éventail d'ordres de grandeur très ouvert.

(3) Sur les distributions gaussiennes et sur celles qui suivent une loi de puissance, voir : *Economie des extrêmes*, de Daniel Zajdenweber (Flammarion 2000, en cours de réédition dans la collection Champs, avec des compléments), *Le cygne noir*, de Nassim Nicholas Taleb (Les

Belles Lettres 2008), *Une approche fractale des marchés*, de Benoît Mandelbrot (Odile Jacob, 2005, rééd. 2009), ainsi que les publications citées par ces ouvrages.

(4) De même que la loi de la relativité se substitue à la loi de Newton, pour les vitesses extrêmes, la loi de Gauss est, le plus souvent, une approximation inadéquate en matière de risques de catastrophe. On pourrait dire que la distribution de Gauss légitime l'application de la formule : le risque zéro n'existe pas (sous-entendu : mais il peut être minimisé et acceptable), tandis que les distributions suivant des lois de puissance à faible pente (inférieure à -2) justifient l'application du principe de précaution (qui intervient lorsque les risques collectifs sont trop importants).

(5) Les catastrophes des ères géologiques montrent qu'il y a des possibilités d'événements naturels extrêmes d'ampleur planétaire. Les causes peuvent avoir été atmosphériques, cosmiques (phénomène solaire, chute d'un météorite géant...) ou avoir résulté de la physique interne du globe terrestre (éruptions, rupture des protections électromagnétiques...).

(6) Exemple : l'analyse des bulles d'air présentes dans les « carottes » prélevées dans des masses glaciaires anciennes (cela, malgré diverses critiques émises sur la représentativité d'une composition gazeuse soumise, au cours du temps et des prélèvements, à de considérables variations de pression, de température et d'agitation mécanique).

(7) De ce fait, les modèles climatiques divergent : à côté de leur aspect déterministe et de l'approximation liée à la linéarisation des équations différentielles, nécessaire au calcul, les faiblesses des GCM (*Global Circulating Models*) sont :

- ✓ la taille toujours trop importante des cellules (la plupart des phénomènes météo-actifs étant de tailles très inférieures) ;
- ✓ le fait même d'admettre qu'il puisse y avoir, même durant un temps très court, un équilibre radiatif dans un milieu en mouvement et en échange thermique continuel ;
- ✓ l'assimilation de la radiation des couches d'air à celle d'un corps solide noir, alors qu'il s'agit d'un gaz raréfié qui n'est pas en équilibre thermique et que l'absorption et la réémission des GES (sauf la vapeur d'eau), du CO<sub>2</sub> en particulier, intervient dans des gammes de fréquences étroites ;
- ✓ les interactions atmosphère/surface océanique, mal connues et dépendant fortement de l'état de surface de l'eau, qui est un paramètre très variable ;
- ✓ le déséquilibre thermique entre les océans et l'atmosphère : une grande partie de la chaleur provenant de l'irradiation solaire et ne servant pas à l'évaporation, est non pas réémise sous forme de radiations, mais dispersée par les mouvements de l'eau et les courants, selon des processus encore mal connus ;
- ✓ l'impossibilité de calculer de façon précise l'évaporation et le transfert de la vapeur d'eau de la surface marine dans l'atmosphère, à l'échelle des cellules, car il s'agit de phénomènes d'ampleur métrique à décimétrique. La teneur en vapeur d'eau est fixée au moyen de paramétrisations approximatives.

Il est donc très difficile de simuler avec un minimum de réalisme la formation et la localisation des nuages et de calculer l'influence de l'amplification de l'effet de serre par la vapeur d'eau supplémentaire. L'albédo des nuages, ainsi que la capacité d'absorption et de radiation des gouttelettes d'eau, ne pouvant être représentés de façon précise, font l'objet d'une paramétrisation qui reste grossière.

La plupart des phénomènes cités ci-dessus n'ont pas à être pris en compte par la prévision météorologique sur une durée de quelques jours. La difficulté (et même l'impossibilité, actuellement), pour les modèles climatiques globaux (GCM), de représenter les grandes oscillations thermiques océaniques, qui sont elles-mêmes responsables d'une partie importante des phénomènes extrêmes, en souligne les limites.

(8) Sur la complexité des systèmes biologiques, voir l'article de Gilles Escarguel dans ce même numéro de Responsabilité et Environnement, ainsi que le rapport de l'Académie de sciences, *Événements climatiques extrêmes : réduire la vulnérabilité des systèmes écologiques et sociaux* (à paraître). Les écosystèmes sont surtout considérés comme des facteurs de stabilité, mais ils deviennent sources d'aléas, s'ils s'effondrent. Les atteintes qu'ils subissent, proviennent du développement de l'agroforesterie et de l'amplification continue des transformations du territoire, en particulier du fait de l'urbanisation. Le changement climatique est, pour eux, un facteur de déstabilisation supplémentaire.

(9) L'opposition entre Darwin (mettant en évidence l'accumulation de modifications minimes, accompagnées d'un mécanisme de sélection) et les partisans des catastrophes est une référence fondamentale. Le débat entre continuité et rupture traverse l'histoire de l'évolution.

(10) Voir Bernard Derrida (Rapport de l'Académie des Sciences), qui se réfère notamment aux publications de P. Bak et de Mark E. J. Newman.

(11) Selon le GIEC, le seuil correspond à un accroissement de la température moyenne du globe de 2°C, et les politiques donnent à cette estimation une interprétation rigide. En fait, il s'agit surtout d'un compromis visant à fixer un objectif qui ne soit pas irréaliste. Mais aucune preuve n'est apportée de l'existence d'un seuil et un livre comme *Six degrés*, du journaliste Mark Lynas, qui vise à sensibiliser l'opinion, montre un accroissement progressif des menaces...

(12) Voir *L'enfermement planétaire*, d'André Lebeau (un ancien responsable du CNES et de Météo France), qui souligne la limite des risques naturels, même dans la perspective du changement climatique, par rapport aux risques systémiques.

(13) L'erreur de Malthus se répète périodiquement : l'annonce de la fin du charbon (à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle), le Club de Rome (il y a quarante ans). Souhaitons que la mode des études sur les ressources rares ne débouche pas sur une erreur de diagnostic : la rarefaction n'est jamais que relative par rapport à un système technique et sociétal donné, et elle peut être surmontée si on change le système à temps, ce qui doit se faire dans le domaine énergétique, pour amortir les chocs pétroliers à venir, ou en agriculture pour éviter un choc alimentaire. A cet égard, le titre délibérément provocateur, *Trop de pétrole*, de l'ouvrage d'Henri Prévot (Seuil 2008, voir aussi son article publié en janvier 2008 dans la Gazette de la société et des techniques (<http://www.annales.org/gazette/gazette-45-01-08.html>)) n'est pas malvenu, et l'on se reportera également à l'appel pour un autre système agricole, que lance François Papy, dans ce numéro de Responsabilité et Environnement.

(14) « Intensité anormale d'un agent naturel » est l'expression employée dans la loi fondamentale de 1982 sur l'indemnisation des effets des risques naturels. Dans l'application, les autorités ont souvent retenu un critère de rareté (plus précisément, de fréquence supra décennale). On est, là, très loin de l'aléa extrême.

(15) Sur la DRR, voir les publications de l'ISDR (*International Strategy for Disaster Reduction*), rattachée au Secrétaire général adjoint des Nations unies pour les Questions humanitaires.

(16) C'est ce qui découle, par exemple, de la directive européenne sur les inondations, qui invite à choisir entre plusieurs niveaux d'aléas de référence : ainsi, dans les grands bassins français, on peut prendre l'aléa centennal comme aléa de référence, tout en considérant comme acceptables les conséquences d'un aléa millénal, alors qu'aux Pays-Bas et à Londres, on se calera sur l'aléa millénal, qui constitue un risque extrême inacceptable. Sur les aléas de référence, voir la publication de l'AFPCN : *Adaptation au changement climatique, les risques naturels*, 2007.

(17) La politique française de gestion des risques naturels a été obérée, au départ, par la qualification de catastrophe naturelle attribuée à tous les dommages résultant de l'intensité anormale d'un agent naturel. Un document récent de la Fédération Française des Sociétés d'Assurances (synthèse diffusée le 29 avril) traitant du changement

climatique fait cependant la distinction entre « risques locaux » et « grands risques ».

(18) Voir Michel-Kerjan et l'encadré de D. Kessler, président de la SCOR (première société française de réassurance), dans le rapport (à paraître) de l'Académie des Sciences.

(19) Avec l'amortissement des chocs pétroliers.

(20) L'*early warning* est à la fois la vigilance préventive et l'alerte précoce. Le « catastrophisme éclairé », selon Jean-Pierre Dupuy, consiste à envisager la catastrophe comme certaine pour éviter qu'elle ne se produise. La vigilance à l'égard des menaces d'événements extrêmes doit traquer les signes précurseurs et les analyser, grâce aux techniques

statistiques mentionnées au début de cet article. Il faut reconnaître l'utilité des lanceurs d'alertes.

(21) Le niveau clé, pour cette garantie, est celui de la réassurance. Le dispositif français, qui accorde le monopole de la garantie de l'Etat à une compagnie nationale spécialisée, isole le marché financier français et fait porter sur l'Etat la totalité du risque en matière d'événements extrêmes.

(22) Revue *Esprit*, mars 2008, dossier *Le temps des catastrophes* ; Frédéric Neyrat : *Biopolitique des catastrophes*, éditions MF, 2008 ; Isabelle Stengers : *Au temps des catastrophes, résister à la barbarie qui vient*, La découverte, 2008 ; Jean-Pierre Dupuy : *La marque du sacré*, Carnets Nord, janvier 2009 ; François Walter : *Catastrophes, Une histoire culturelle*, Seuil, 2008.

## Adapter qui à quoi ? Quelle place pour l'homme dans la nature ?

S'adapter au changement climatique ou à toute autre perturbation de la biosphère ne relève pas seulement d'une réflexion technique ou technico-économique, voire de l'économie politique. Même si le discours ambiant, notamment en matière de « développement durable », admet qu'il faut rendre plus « sobres » nos modes de consommation d'énergie, envisager une « autre » croissance (souvent sans plus de précision), nous sommes généralement soumis à *une double pression* : d'une part, celle des tenants d'un monde « naturel » dont nous devons « préserver les équilibres » et, d'autre part, celle des partisans d'un monde « culturel » humain, dont nous devons « maintenir l'originalité ».

par Michel JUFFÉ\* (1)

Dans les deux cas, l'homme et la nature se *font face*, chacun soutenant tel ou tel camp, ou parfois les deux, selon les thèmes particuliers abordés, la proximité des problèmes posés ou le degré de connaissance qu'en a le spectateur (électeur, contribuable, usager...).

Dans le cadre de ce face-à-face, lorsqu'il est question d'adaptation au changement climatique, le discours est souvent articulé comme suit :

- a) le changement climatique existe spontanément dans la nature ;
- b) les activités humaines le perturbent durablement ;
- c) il faut limiter ces perturbations ;
- d) cette limitation rencontre elle-même des limites « naturelles » (l'accumulation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère ne peut pas être aisément et rapidement modifiée, ses effets induits ne sont que très partiellement canalisables) ;
- e) enfin, il faut s'adapter à l'inéluctable.

Dans ce discours, il est toujours question d'une insuffisante (ou d'une suffisante) *maîtrise* de la nature, ce qui implique que l'homme, au moins en partie (sa raison, son esprit, sa culture...), se situerait *en dehors* de ladite nature.

Une telle conception des relations homme/nature n'est pas universelle. Elle est partagée par ceux qui croient en la « modernité », au « progrès », à l'impact décisif de « la Science » (au singulier) sur le bien-être individuel et collectif, à la nécessité d'accroître sans arrêt la quantité et la « qualité » des produits et services propices à ce bien-être, et par suite à une culture de la « compétence » et de la « performance ». Bref, *selon cette conception*, l'humanité serait en train de *créer* un « nouveau monde », qui garderait des liens avec la nature – car il lui emprunterait beaucoup de ses éléments inorganiques et organiques – mais qui *transcenderait* cette nature, même s'il ne peut (pour l'instant) s'en *affranchir*, car il n'est pas (encore) un tout-puissant Créateur. Même si cette image de toute-puissance se heur-

te à quelques déconvenues – dont le réchauffement climatique – les tenants de la modernité (terme que j'emploie comme emblème de cette conception, même s'il est réducteur) restent persuadés que, tôt ou tard, l'esprit humain parviendra à résoudre tous les problèmes vitaux qui se posent à l'humanité prise dans son ensemble. Les variantes de cette croyance portent essentiellement sur les délais et sur le degré de souffrance, de privations et de destructions qu'il faudra subir avant de parvenir à un état de stabilité, par delà toutes ces turbulences. Je parle de « modernité », car cette thèse n'est pas l'apanage des seuls « libéraux » ou des « capitalistes » ; elle convient aussi aux « socialistes » et aux « communistes », les différences portant essentiellement sur les méthodes pour acquérir la puissance et sur les bénéficiaires de ses produits à court, moyen et long terme.

Or, c'est cette conception des relations homme/nature que la cosmologie, la biologie et l'anthropologie remettent fortement en question. Je voudrais articuler cette remise en question selon trois propositions, que je vais développer rapidement :

- ✓ la Nature est infinie : elle n'a aucune fin, aucun but, aucun projet ;
- ✓ au sein de la Nature, toutes les populations cherchent à « persévérer dans leur être », y compris l'espèce humaine ;
- ✓ les capacités créatrices des humains sont perverties par la recherche de la toute-puissance.

### L'infinité de la Nature

Depuis Giordano Bruno et Galilée, l'idée que le monde est infini a fait son chemin : le monde s'étend toujours au-delà de nos capacités d'observation ; il n'a pas de commencement assignable (le *Big Bang* est le début d'une phase de l'existence de l'Univers connu, ni plus ni moins), ni d'achèvement en vue (l'extinction de notre Soleil ou même celle de toutes les étoiles de notre galaxie ne préjugent en rien

de l'avenir de l'ensemble de l'Univers) ; il se peut qu'il se contracte, ou qu'il se dilate sans fin ou se livre à d'autres transformations, mais nous n'en savons rien. L'idée d'infini-té, poussée plus loin, entraîne deux conséquences qui se tiennent : 1°) la Nature (avec un grand N, pour dire « le monde », « l'Univers », au sens le plus englobant possible et non au sens de la « protection de la nature » ou de « la nature humaine » ou de tout autre sens local et particulier) ne poursuit aucun but, ne recherche aucune perfection qui lui manquerait ; elle n'a pas à s'améliorer pour atteindre un état final ou stable, bref, elle n'est pas en manque. 2°) il n'existe pas de Dieu créateur, c'est-à-dire de volonté extérieure à la Nature, qui façonnerait celle-ci, autrement dit un « esprit » qui imposerait une forme (constante ou évolutive, peu importe) à une « matière », qu'il aurait tirée du néant. Pas d'Être suprême, de grand architecte de l'Univers, de force cachée, qui œuvrerait dans on ne sait quelle coulisse du monde. Le mieux que l'on puisse dire est que la Nature est *autocréatrice*, en un perpétuel mouvement de transformation, qui laisse peut-être invariants certains éléments constitutifs et/ou certaines règles d'assemblage. Il s'ensuit que rien ne peut « perturber » la Nature, puisque rien ne peut agir sur elle, en dehors d'elle-même. Quelles que soient les variations qui puissent se produire, sous l'effet de quelconques forces – y compris les activités humaines – la Nature n'en sera pas atteinte, puisqu'il est dans la nature de la Nature de se modifier sous l'effet des forces qui s'exercent en son sein. Une conséquence, importante, pour nous, les humains, en est que lorsque certains d'entre nous prétendent connaître les desseins cachés de Dieu ou ce qui est bon (ou mauvais) pour la Nature (ce qui revient au même, en pratique), nous pouvons y voir une *imposture*, soit naïve soit maligne. En d'autres termes, nous ne pouvons pas rendre la Nature complice de nos lubies concernant le destin de la Création, et en particulier, la place éminente des hommes ou de certaines catégories d'homme dans l'accomplissement de ce destin. Admettre que la Nature est infinie et autocréatrice est ainsi un excellent remède à toutes sortes de fanatismes, à toute prétention à détenir la vérité sur les fins ultimes.

### La persévérance dans l'être

Nous constatons, par divers moyens, que les individus, les sociétés, les espèces, les écosystèmes, la biosphère dans son ensemble... font leur possible pour se conserver, c'est-à-dire demeurer intacts, quelles que soient les modifications de leur milieu. C'est, au-delà des êtres vivants, une caractéristique générale des « êtres » : chacun tend à se conserver, dans la mesure de ses moyens. « Se conserver » ne veut pas forcément dire « rester identique à soi-même sans modifications » ; au contraire, ce qu'a mis en évidence la théorie de l'évolution, c'est que cette conservation n'est possible – chaque individu étant mortel – que par la descendance *avec des modifications*. Comme tous existent les uns en relation avec les autres, s'utilisant pour maintenir leur propre existence et comme ces relations peuvent aller de la coopération, au bénéfice mutuel de toutes les « parties prenantes »,

jusqu'à la destruction totale des uns pour le maintien en bon état des autres, en passant par de multiples formes de coopération/compétition, il est impossible de prédire qui va réussir (ou non) à se conserver, ni comment. Nous pouvons seulement constater (et encore, partiellement) que certaines espèces ou que certains ensembles d'espèces subsistent durant un certain temps.

Mais, nous objectera-t-on, on voit bien qu'il existe une tendance générale à la complexification, qui mène des êtres unicellulaires aux pluricellulaires, des invertébrés aux vertébrés, de ceux-ci aux mammifères, puis aux primates, aux hominidés et finalement à *homo sapiens sapiens* – c'est-à-dire nous. Et cela continue, au sein même de l'espèce humaine, allant des formes de société les plus simples aux plus complexes, des « primitifs » aux « civilisés », ceux-ci se distinguant par leur « niveau » plus élevé de production scientifique, artistique, technique, juridique, économique, etc. Les sociétés les plus « avancées » ou « développées » se reconnaissent à la formule éprouvée : « la démocratie + le marché ».

Or, même si notre connaissance de l'évolution de la vie sur Terre est très lacunaire, cette conception d'une progression continue (du moins au plus organisé, intelligent, etc.) ne peut être perçue autrement que comme une naturalisation du Dieu créateur pourvu d'intentions, dont la moindre n'est pas de donner à l'homme sa juste place au sommet de la Création. En effet, plusieurs enseignements de l'histoire naturelle invalident l'existence d'une telle orientation et confirment que tous les êtres tendent à persévérer dans leur être et non les uns au service des autres en une hiérarchie, dont l'homme constituerait le sommet, œuvrant pour la plus grande gloire de Dieu (ou d'une Nature déifiée, ce qui revient au même) :

■ Au commencement de la vie : les bactéries ; celles-ci ont d'abord été seules, puis elles ont engendré (par symbiose, semble-t-il) des organismes unicellulaires à noyau, lesquels ont ensuite formé des colonies, qui ont fini par se reproduire telles quelles, en tant qu'organismes pluricellulaires. Les bactéries continuent à exister : elles sont présentes partout sur Terre, notamment dans les corps des organismes pluricellulaires, qui ne pourraient survivre sans leur présence. Je ne pense pas que l'on puisse en conclure qu'elles sont la forme de vie supérieure...

■ Quoi qu'il en soit de la survivance des bactéries, il n'en demeure pas moins que, depuis 4 milliards d'années, sont apparues des formes de vie de plus en plus complexes. Est-ce une *orientation* vers la complexité, une *tendance* ? L'examen de l'évolution de certaines lignées animales est loin de le confirmer : par exemple, les chevaux actuels, loin d'être le sommet d'une évolution qui aurait éliminé d'autres espèces au profit d'une seule, sont ce qu'il reste de tout un foisonnement d'espèces, dont l'actuel rescapé n'est probablement pas le mieux placé pour résister à de forts changements du milieu. Plus globalement, l'on assiste autant à des simplifications qu'à des complexifications, les exemples les plus frappants étant ceux des espèces qui deviennent parasites d'autres et perdent, ainsi, certains de leurs organes et de leurs fonctions. La simplification n'est pas moins « évolu-

tionniste » que la complexification. Celle-ci n'est qu'un aléa dans la transformation des espèces et n'a donc pas de valeur de survie en soi ; elle peut même, le cas échéant, représenter un handicap important.

■ La contestation la plus radicale de l'idée d'une tendance à une complexité qui vaudrait supériorité tient à une modification de perspective : si nous considérons l'ensemble des espèces qui forment un écosystème, la question de savoir laquelle est la plus « développée » ou « dominante » n'a aucun sens ; il n'est plus question de considérer des espèces une à une, mais de voir comment les espèces présentes et les ressources dont elles disposent forment un système stable susceptible de se maintenir en dépit des varia-

■ Le dernier bastion de l'anthropocentrisme consiste à dire que l'espèce humaine a, au minimum, une caractéristique qui la met à part du reste de la nature : un degré de conscience incomparable et, par suite, une intelligence unique, ce qui se résume en disant que « l'homme est un animal rationnel ». Si l'intelligence consiste à être capable de se conserver le mieux possible dans la mesure de ses moyens, à accroître sa connaissance du monde afin d'améliorer les moyens dont on dispose, à éviter les situations dangereuses à moins que ce ne soit pour un bénéfice plus grand, à être capable de trouver des partenaires pour se rendre la vie plus agréable, etc., alors on ne voit pas comment l'humanité, *dans son ensemble*, manifeste plus d'intel-



© Darlyne A. Murawski/Peter Arnold/BIOSPOTO

« Quoi qu'il en soit de la survivance des bactéries, il n'en demeure pas moins que, depuis 4 milliards d'années, sont apparues des formes de vie de plus en plus complexes. » Diatomées (algues unicellulaires : grossissement x 100).

tions de quantité et de capacités de ses membres. La « performance » de l'écosystème dépend essentiellement des interrelations entre ses composants, qui sont aussi bien des espèces particulières que des associations d'espèces ou des caractéristiques du substrat physico-chimique. On y trouve des relations de prédation, de parasitisme, de coopération (symbiose, mutualisme), d'évitement, etc., en proportions variables. Une grande partie des plantes terrestres vivent en association symbiotique avec des champignons microscopiques. Les relations symbiotiques constituent le socle de la subsistance d'un grand nombre d'organismes pluricellulaires : on peut aussi bien y voir une simplification qu'une complexification des modalités de survie des espèces et des associations d'espèces.

ligence que telle ou telle espèce ou association d'espèces. Si l'on réserve « l'intelligence » à la capacité de produire des œuvres « qui n'existent pas dans la nature » (art, science, littérature...), encore faudrait-il démontrer que les *artefacts* humains ont plus de valeur, d'originalité, de créativité que ceux d'autres espèces ou associations d'espèces.

■ L'ensemble des espèces et des écosystèmes, qui ne forme certes pas un tout harmonieux, n'est pas non plus un champ de bataille permanent, où tous les événements se dérouleraient sur fond d'une incessante « lutte pour l'existence ». Il n'existe nul « moteur » de l'histoire naturelle qui en expliquerait le déroulement ; on peut même dire qu'il existe un très grand nombre de moteurs, chacun actionnant

une forme de vie qui s'efforce de continuer à exister, par tous les moyens à sa disposition. La résultante de cette multiplicité d'efforts non harmonisés, plus ou moins opposés ou associés entre eux, est une histoire *contingente*. On ne peut en prédire la suite, car il n'y a aucun moyen de savoir comment vont se composer les divers efforts, sachant que des écarts parfois réduits peuvent entraîner, dans leur dynamique, des divergences d'évolutions importantes à plus ou moins long terme. Cela vaut également pour l'histoire humaine, laquelle fait partie intégrante de l'histoire naturelle.

### Les limites de la toute-puissance

L'être humain, en tant que partie de la nature, est doté d'une capacité peu répandue, voire unique, à créer toutes sortes d'*artefacts*, qui ont le plus souvent pour effet d'augmenter son champ de perception et d'action. Nous sommes probablement la seule espèce sur Terre à pouvoir contempler des noyaux atomiques et des galaxies lointaines, à nous être dotés d'un réseau de communication qui permet de joindre des milliards d'individus en moins d'une seconde, à utiliser des engins mécaniques qui amplifient des milliers de fois la puissance de nos muscles, etc. La recherche de la puissance est commune à toutes les cultures humaines. Elle s'exprime dans des récits : textes religieux ou profanes qui exaltent les pouvoirs miraculeux des dieux, des héros, des prophètes, des saints, des sorciers, etc. ; récits d'exploits militaires, d'aventuriers, de sportifs, voire de savants... qui ont enduré de terribles épreuves pour vaincre l'ennemi, l'inconnu, le désert, le froid, la misère... ; bandes dessinées et films qui mettent en scène des super-héros de tout poil (Superman, Batman, Ironman, X-men, etc.). Elle se manifeste aussi à travers des réalisations gigantesques et/ou de hautes performances (« plus vite, plus haut, plus fort » – telle est la devise des Jeux Olympiques) : ouvrages d'art, bâtiments, véhicules, machines, instruments, médicaments, etc. Elle se présente, enfin, comme un culte de la quantité, des *grands nombres* destinés à faire toucher du doigt la grandeur d'une personne, d'une ville, d'une entreprise, d'un pays, d'une civilisation. Le chiffre d'affaires d'une entreprise, le nombre de produits qu'elle fabrique par unité de temps, ses effectifs, le nombre d'adhérents à un parti, de manifestants répondant à un appel politique, syndical ou religieux, d'abonnés à une revue, d'acheteurs d'un livre, de spectateurs d'un film... : tout cela témoigne d'un désir de puissance assimilée uniquement à une *augmentation quantitative* des performances, voire de la simple existence, d'un être humain (2).

Ce qui est pernicieux, dans ce calcul de la puissance, c'est le fait qu'il est forcément *dépréciatif* pour tous ceux qui ne sont pas « gagnants » : si certains ont *plus* de puissance, c'est que d'autres en ont *moins*, ce qui est d'autant plus manifeste lorsque cette puissance découle d'un partage de ressources limitées. Plus l'écart entre la puissance de l'un et celle de l'autre est important, plus le premier se sent surpuissant (et, partant, *supérieur*) par rapport au second. Un pas de plus (vite franchi), et c'est la justification de l'hu-

miliation, de l'oppression ou de la ségrégation de l'autre, par le fait que cette infériorité devient une « marque de fabrique », que l'on applique à certaines catégories d'êtres humains. A l'extrême, assez vite atteint (pour peu que l'admirateur ou le détenteur de la puissance soit libre d'agir à sa convenance), c'est la puissance de destruction qui sera exaltée, car celle-ci est très démonstrative : « Bien plus que la création (qui, elle, est toujours lente et laborieuse, toujours partielle), la destruction – instantanée, spectaculaire – nous donne un accès rapide et euphorique à la toute-puissance divine. » (3) La *compétition systématique*, portée au rang de valeur suprême de la civilisation, n'est pas une destruction instantanée, mais elle entraîne plus de destructions que de créations : celle des vaincus, qui s'en trouvent diminués voire écrasés, celle des vainqueurs, qui ne peuvent perpétuellement maintenir leur domination (sans parler du coût, parfois très élevé, de leurs victoires, comme en témoigne souvent le devenir des sportifs de haut niveau), celle de ceux qui ne peuvent pas participer à la compétition (et le voudraient), car ils n'ont pas le minimum ou le type de puissance requis (force physique, diplômes, statut social, « race », sexe, etc.). La fascination exercée par les crimes, les violences (notamment sexuelles), les catastrophes et les destructions massives de toute sorte... est un symptôme éloquent des méfaits d'une recherche de cette toute-puissance. « Que la force soit avec toi ! » n'est sans doute pas ce qu'il faut souhaiter à quiconque souhaite établir des relations de coopération, de concorde et d'amitié entre groupes d'humains.

La plupart des atteintes et des destructions que subissent divers écosystèmes, y compris humains (si l'on considère sous cet angle les exactions que subissent bon nombre de populations), résulte de cette exaltation d'une *puissance brute*, que l'on peut qualifier de *morbide* (car elle a plus d'effets délétères que salutaires) et de *corruptrice* (car elle dégrade, plus qu'elle ne préserve). Cela ne signifie pas qu'elle procède de manière native d'une intention de nuire, d'un esprit du mal qui planerait sur les entreprises humaines. C'est plutôt l'effet de la démesure (*hubris*), qui se développe chez les humains dès qu'ils se sentent *menacés*, de manière réelle ou imaginaire. C'est ce qui se produit, constamment, puisque l'être humain a conscience de ses propres fragilité et mortalité, une conscience d'autant plus vive qu'il jouit également d'une très grande capacité de simulation, d'imagination.

Il ne suffira donc pas d'adopter des mesures de prévention et d'adaptation aux diverses *menaces* – dont le réchauffement climatique – qui pèsent sur les sociétés humaines, au sein d'écosystèmes qui les englobent. Seul *un renoncement à l'exaltation de la puissance brute*, à présent largement installée au sein des sociétés humaines, *pourra infléchir la production de l'ensemble des artefacts humains vers autre chose que l'abus permanent des ressources, des biens et des êtres*. Il ne s'agit pas seulement d'orienter la production et la consommation des biens vers des ressources renouvelables, vers une utilisation plus parcimonieuse, plus économe, plus sobre de la nature (y compris humaine), mais de parvenir à *élever* l'ensemble de l'hu-



© Larry Towell/MAGNUM PHOTOS

« La fascination exercée par les crimes, les violences (notamment sexuelles), les catastrophes et les destructions massives de toutes sortes [...] est un symptôme éloquent des méfaits d'une recherche de cette toute-puissance. » New York, 11 septembre 2001.

nité au-dessus de cette crainte perpétuelle d'être la victime passée, présente et future de *menaces* face auxquelles elle ne peut avoir que des réactions disproportionnées. Cela implique de cesser de regarder la nature comme étant animée d'une volonté de nous nuire ou de nous satisfaire, autrement dit de cesser de considérer les dangers que nous courrons comme des menaces, car cela renforce notre sentiment d'impuissance et notre recherche de la toute-puissance. Cela implique aussi que nous devons *réduire* les menaces dont nous sommes à l'origine, non en combattant tous ceux qui sont supposés nous menacer, mais en cessant de sur-interpréter la conduite des autres, comme, par exemple, tous ces *Aliens*, qui ne peuvent que nous vouloir du mal, puisqu'ils n'ont ni nos mœurs, ni nos croyances, tels tous ces « pauvres », chez nous et ailleurs, dont la misère supposée (on peut être pauvre, c'est-à-dire disposer de peu de biens matériels, sans être miséreux) en fait des *misérables* (4), c'est-à-dire une menace potentielle pour la bonne société, celle qui se dit « civilisée ».

Vaste programme ! D'autant plus vaste qu'il s'écarte de cet olympisme (devenir comme les dieux !) qui est devenu l'emblème commun de l'humanité. Comment re-trouver le chemin de la juste mesure, qui n'est pas celui des « mesures extrêmes » ? Je ne peux ici qu'indiquer quelques jalons : prescrire la dignité et l'intégrité de tout être humain comme socle des droits et devoirs, ce qui s'accompagne notamment d'une totale laïcité ; développer et fédérer l'action concertée (et concertante) d'organes régulateurs au niveau mon-

dial, dotés d'une véritable force de police ; encourager la créativité dans tous les domaines, autant que possible hors compétition ; faire, effectivement, des « services essentiels », des biens publics mondiaux ; considérer l'humanité comme partie intégrante de la Nature, ni plus ni moins ; valoriser la diversité des espèces, des cultures, des opinions, des choix, etc., sans les réduire à un recueil folklorique...

Le problème le plus urgent à régler sur *notre* Terre, ce n'est pas de réduire l'ampleur du changement climatique ou de ses effets, mais bien de modifier notre propre climat intérieur, celui dans lequel baigne l'ensemble des relations entre humains.

### Notes

\* Philosophe, conseiller du Vice-président du Conseil général de l'Environnement et du Développement durable (CGEDD) au Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat (MEEDDM).

- (1) Les propos tenus ici n'engagent en rien le CGEDD et le MEEDDM.
- (2) Le *Livre Guinness des records*, édité tous les ans à 3 millions d'exemplaires, en est la caricature.
- (3) Nancy Huston, *Qui châtie « bien » fait beaucoup de mal*, Le Monde des Livres, vendredi 19 juin 2009.
- (4) « Il y a un point où les infortunés et les infâmes se mêlent et se confondent dans un seul mot, mot fatal, les misérables ; de qui est-ce la faute ? », Victor Hugo.

# La place de l'adaptation dans la politique climatique

**Des changements inéluctables, deux formes de prévention : le 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation du GIEC, paru en 2007, a dissipé les doutes qui pouvaient encore subsister sur le fait que le réchauffement climatique est déjà amorcé, qu'il est provoqué par les activités humaines et qu'il s'amplifiera au cours des prochaines décennies...**

par Marc GILLET\*

Un examen détaillé des scénarios du GIEC pour les émissions de gaz à effet de serre montre que seuls les scénarios les plus optimistes peuvent conduire à une élévation de la température moyenne du Globe n'excédant pas de plus de 2°C la valeur qui était la sienne à l'époque préindustrielle, comme le souhaite l'Union européenne et la France (1).

Il faut, en effet, constater qu'en termes de température moyenne globale, cette limite de +2°C par rapport à la température de l'époque préindustrielle correspond à seulement 1,4°C de plus qu'aujourd'hui, alors qu'aucun modèle du GIEC ne prévoit moins de 1,1°C de plus qu'aujourd'hui et que certains vont jusqu'à annoncer un réchauffement de plus de 6°C (2).

Même dans le cas de scénarios moyens d'émissions de gaz à effet de serre, aboutissant à une augmentation de température de 3 ou 4 degrés par rapport à aujourd'hui, il existe des interrogations sérieuses sur la capacité du système climatique à se stabiliser : autrement dit, ce réchauffement pourrait se poursuivre de lui-même, sans que l'on puisse dire avec certitude à quel niveau il s'arrêtera, ni quand. A titre d'exemple, la Terre a en effet connu, il y a cent millions d'années et plus, des climats beaucoup plus chauds qu'aujourd'hui (et avec des concentrations en CO<sub>2</sub> beaucoup plus élevées).

Face à de tels risques et à de telles incertitudes, la réduction drastique des émissions constitue donc un impératif absolu : c'est là le premier volet de la prévention du changement climatique, appelé *atténuation* (*mitigation*, en anglais), qui consiste à agir sur la cause du changement climatique. Cependant, même en présence d'une action d'atténuation très vigoureuse, il reste nécessaire de s'interroger sur les actions à entreprendre afin de vivre dans les meilleures conditions possibles les climats du futur, en réduisant notre vulnérabilité face au changement climatique qui se produira malgré tout : c'est l'objet de l'*adaptation*, qui nous occupe ici.

La question de l'adaptation se pose depuis le début des négociations sur le climat, qui se tiennent dans le cadre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC). Toutefois, force est de constater que, même dans ces négociations, elle a peu progressé, en

comparaison de ce qu'il s'est passé en matière d'atténuation. Nous nous efforcerons d'identifier ici les raisons de ce retard.

## Qu'est-ce que l'adaptation ?

Le GIEC (3) définit l'adaptation comme l'ajustement des systèmes naturels ou humains en réaction à des stimuli climatiques (actuels ou attendus) ou à leurs effets, réduisant les dommages ou exploitant les opportunités de gains. On peut distinguer divers types d'adaptation, au nombre desquels on compte l'adaptation par anticipation, effectuée avant que les impacts ne se fassent sentir, par opposition à l'adaptation réactive, prenant place après qu'un impact soit survenu. Par ailleurs, l'adaptation peut être planifiée, c'est-à-dire résulter de politiques publiques, ou spontanée : les écosystèmes, par exemple, ont une certaine capacité d'adaptation spontanée, qui peut, dans certains cas, être renforcée par des actions de politique publique.

Le risque est généralement défini, pour un enjeu donné, comme la conjonction d'un *aléa* extérieur à cet enjeu avec une *vulnérabilité* propre à l'enjeu (voir, par exemple, le portail Internet de la prévention des risques) (4). La notion de risque est souvent associée aux *risques majeurs*, c'est-à-dire aux risques susceptibles d'entraîner soudainement de nombreuses victimes ou des dommages économiques énormes ; dans notre cas, cependant, nous étendons la notion de risque à toutes les probabilités d'événements indésirables. *L'adaptation*, telle que nous l'entendons ici, consiste à réduire la vulnérabilité d'un enjeu donné face au changement climatique, de manière à atténuer les risques (c'est-à-dire la probabilité d'événements indésirables) encourus face aux divers aléas susceptibles d'être amplifiés (ou même créés) par le changement climatique : cyclones, canicules, sécheresses, inondations... L'existence ou la probabilité de ces aléas dépendront de l'ampleur et de la nature des changements climatiques qui se produiront. La figure 1 illustre schématiquement l'évolution des coûts induits au cours du temps par les impacts du changement climatique (CC), selon que des actions d'adaptation ont ou non été prises.

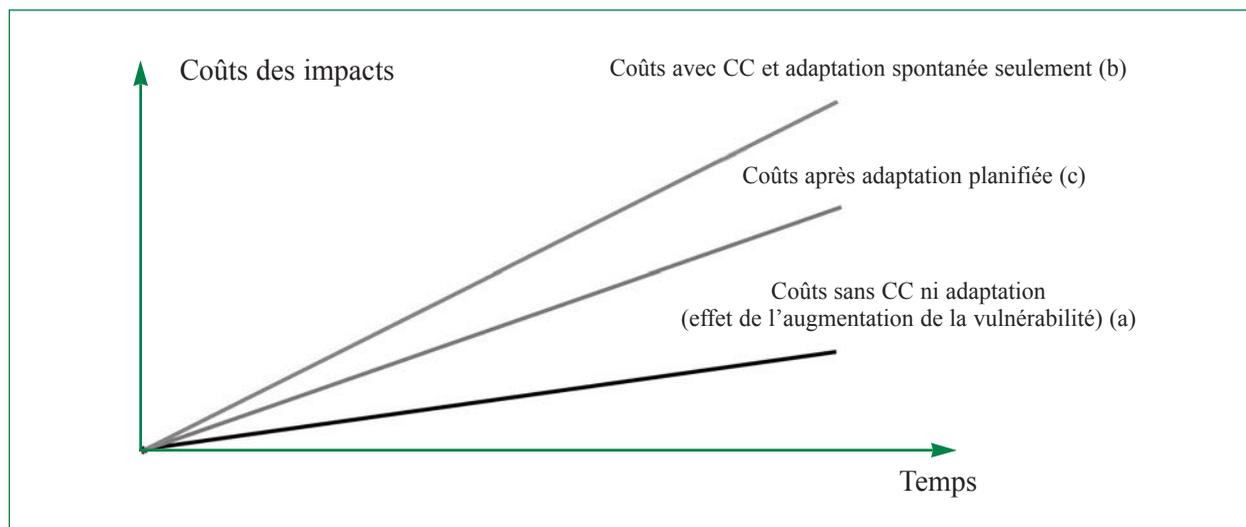


Figure 1. Représentation schématique de l'évolution des coûts induits au cours du temps par les impacts du changement climatique (CC) et des actions d'adaptation, selon trois hypothèses :

- Pas de changement climatique, ni d'adaptation : la tendance est néanmoins à la croissance des coûts associés aux aléas climatiques (courbe a) ;
- Changement climatique, avec seulement une adaptation spontanée (courbe b) ;
- Changement climatique, avec adaptation spontanée et planifiée (courbe c).

Pour définir les adaptations à réaliser, il faudrait, en toute rigueur, procéder à une évaluation probabiliste des risques encourus dans le futur et déterminer précisément l'ensemble des actions d'adaptation réduisant ces risques à un niveau acceptable, et ce, au moindre coût, sur la période considérée. Cela suppose, en particulier :

- ✓ d'être en mesure d'attribuer une probabilité à chaque scénario de changement climatique : en effet, les coûts ne seront, de toute évidence, pas les mêmes, selon que l'on cherchera à s'adapter à une augmentation de température de 1,5 °C ou de 3 °C ;
- ✓ d'être à même d'évaluer l'évolution « spontanée » de la vulnérabilité : il semble, en effet, que la vulnérabilité économique augmente pratiquement partout (notamment en raison de la croissance de la valeur des biens exposés aux aléas climatiques), même si la vulnérabilité en termes de victimes de risques naturels semble être, par ailleurs, en diminution ;
- ✓ de savoir chiffrer la préférence pour le présent, en employant des formules d'actualisation consensuelles, qui restent à déterminer ;
- ✓ que l'on accepte de définir un niveau de risque acceptable pour l'avenir : le risque zéro n'existant pas, faut-il définir un niveau correspondant à celui actuellement constaté, ou faut-il chercher à faire mieux ?

Les risques économiques se rapportent aux perturbations des équilibres économiques, qui peuvent notamment porter sur :

- ✓ la demande (par exemple, moins de demande d'électricité en hiver, moins de demande d'hébergement touristique...)
- ✓ le capital (destruction d'équipements) ;
- ✓ les capacités et/ou les coûts de production (par exemple, avec une augmentation des coûts de maintenance).

Toutes ces questions se compliquent encore si l'on veut prendre en compte les aspects humains et sociaux. Les systèmes humains sont définis comme suit par le GIEC (5) :

« Les systèmes humains comprennent les structures et les mécanismes sociaux, économiques et institutionnels. Liés à l'industrie, aux implantations et à la société, ces systèmes sont divers et évolutifs, et s'expriment au niveau individuel à travers l'habitat.

Ils tendent à poursuivre des objectifs humains tels que la survie, la sécurité, le bien-être, l'équité et le progrès. Le temps et le climat sont souvent des causes secondaires de bienfaits ou de pression : des sujets comme l'accès aux ressources financières et aux institutions, ou les pressions dues aux conflits, à l'urbanisation, à la maladie ou au terrorisme sont souvent plus importants.

C'est à travers des interactions complexes avec ces types de contextes sociaux que le changement climatique peut avoir un effet, en soulageant ou en aggravant les pressions multiples en présence, et en conduisant dans certains cas ces systèmes au-delà de certains seuils critiques. »

La définition de niveaux de risque équivalents soulève donc des questions conceptuelles difficiles : il faudrait, à la fois, tenir compte des risques économiques pour le pays, pour les différents acteurs économiques, des risques pour la santé et pour la vie humaine, des risques pour la nature... et, même, envisager les risques d'explosions sociales. On atteint les limites de l'approche utilitariste : toute formulation d'une répartition des risques est contestable, du point de vue des intérêts particuliers.

Les approches quantitatives, telles que pratiquées aujourd'hui, ne rendent pas compte des conséquences humaines, qui peuvent être désastreuses même dans des cas où les pertes économiques apparaissent, somme toute, sup-

portables (le texte de l'encadré 1, qui date du tout début du XX<sup>e</sup> siècle, illustre ce propos).

Les difficultés conceptuelles soulevées par l'adaptation au changement climatique ne doivent cependant pas justifier une attitude d'inaction. Un certain nombre d'incertitudes peuvent être réduites, permettant ainsi de tendre vers une démarche aussi rationnelle que possible : il convient de rassembler, d'abord, le maximum d'éléments solides, afin de cerner au mieux les aspects incertains, avant de prendre des décisions à leur sujet. Dans une telle optique, il ressort que des progrès substantiels peuvent encore être réalisés dans la description des climats futurs et la détermination des probabilités de voir se réaliser de nombreux aléas susceptibles d'en découler plus ou moins directement : sécheresses, inondations... ; si ces progrès en matière de connaissance des tendances et des extrêmes climatiques ne résoudreont pas la question de l'optimisation de l'adaptation, puisqu'existent également de lourdes incertitudes affectant la vulnérabilité, il est évident qu'une meilleure connaissance du climat futur et des aléas qui lui sont associés, est indispensable pour progresser.

Ainsi, il ressort des travaux du GIEC qu'il existe un certain nombre de régions du Globe pour lesquelles les résultats

des différents modèles de climat sont aujourd'hui cohérents. C'est le cas de la Méditerranée, où tous ces modèles s'accordent à prédire une diminution des précipitations. En revanche, pour d'autres régions (comme le Sahel ou les régions de mousson), ces résultats sont souvent contradictoires, ce qui pose des questions fondamentales quant à notre compréhension des mécanismes climatiques, auxquelles les scientifiques cherchent à apporter des réponses. Par ailleurs, il est encore rarement possible d'être précis en matière d'évolution future des phénomènes se produisant sur une petite échelle, comme, par exemple, les cyclones tropicaux ou, a fortiori, les orages. Toutefois, les informations déjà existantes sur l'évolution de nombre de paramètres climatiques sont déjà suffisantes pour orienter certaines actions d'adaptation. Dans tous les cas, ces analyses ne peuvent que nous aider à mieux nous adapter au climat actuel, à défaut de connaître le climat futur.

C'est pour cela que l'Organisation Météorologique Mondiale propose comme objectif principal de la 3<sup>e</sup> Conférence mondiale sur le climat, qui se tiendra en septembre 2009, la mise en place d'un Cadre Mondial pour les Services Climatiques, en vue de fournir des informations sur le climat passé, présent et futur, qui soient adaptées aux besoins des usagers souhaitant évaluer les risques auxquels ils pourraient être confrontés.

### Encadré 1

#### Les suites d'une tempête près de Londres ayant ravagé la récolte de houblon :

« Tout cela, naturellement, était navrant pour les propriétaires, je ne le nie point, mais aucun d'entre eux, en poussant les choses au pire, n'en serait amené à réduire en quoi que ce soit le volume de sa consommation de nourriture et sa boisson. C'est pourtant à eux que les journaux consacraient des colonnes entières de condoléances, leurs pertes pécuniaires s'étalant de façon ostentatoire : « Mr. Herbert L... estime ses pertes à huit mille livres, Mr. F..., bien connu dans les milieux de la brasserie, et qui est locataire de la totalité des terres de cette paroisse, a perdu dix mille livres. » Et encore : « Mr. L..., brasseur à Wateringbury et frère de Mr. Herbert L..., est aussi un gros perdant. » Quant aux ramasseurs de houblon, ils ne comptaient absolument pas. Mais je suis certain que les quelques repas qu'avaient perdu William Buggles, et sa femme, Mrs. Buggles, une crève-la-faim, et les enfants Buggles, crève-la-faim eux aussi, étaient une tragédie bien plus importante que les quelques dix mille livres englouties de Mr F... De plus, la tragédie vécue par Mr. Buggles se multipliait par des milliers d'autres, tandis que celle de Mr. F... n'avait au pire fait que cinq victimes. »

Jack London, *Le Peuple d'en bas* (1903), Editions Phébus, Paris, 1999, Chap. XIV.

### Le débat avec les pays en développement

Les pays en développement sont soumis à de nombreuses pressions sur leur développement, autres que le seul changement climatique, entre lesquelles ils éprouvent des difficultés évidentes à identifier des priorités : santé, éducation, ressources alimentaires et en eau, dégradation des écosystèmes. Ils manquent, le plus souvent, dramatiquement de moyens pour sortir de la pauvreté, cause de toutes les misères. Jared Diamond (6) a fort bien exprimé cette problématique des pressions multiples :

« *Quel est le problème environnemental et démographique le plus important aujourd'hui ?* », demande-t-on souvent. Une réponse rapide serait : « *Notre tendance erronée à vouloir identifier le problème le plus important.* » Car chacun de nos douze problèmes (7), faute de solution, nous causera un grave dommage, [alors] que tous interagissent les uns avec les autres. Si nous en résolvions onze, mais pas le douzième, nous serions encore en danger, quel que soit le problème non résolu. Nous devons donc les résoudre tous ».

La variabilité et le changement climatique interviennent dans la plupart de ces pressions, et peuvent, dans certaines conjonctions, les exacerber. Les pays en développement ont été les premiers, dès le début des négociations sur le changement climatique, à insister sur la nécessité de s'adapter. Le but de l'adaptation est de parvenir à des sociétés et à des économies résilientes face au changement climatique. L'adaptation est alors une des composantes de politiques de développement plus larges visant à fortifier les institutions et les capacités de résistance face aux défis économiques et sociaux. Dans cette vision intégrée, il est souvent difficile (et sans doute artificiel) de

chercher à démêler les actions qui relèvent de la lutte contre le changement climatique, de celles qui sont du domaine du développement : cela se traduit par une difficulté à cadrer les financements relevant de l'adaptation au changement climatique.

Si, pendant longtemps, l'adaptation n'a pas été une priorité pour les donateurs d'aides au développement, elle apparaît maintenant dans les objectifs de la plupart des agences de développement, pour des actions spécifiques au changement climatique, d'une part (par exemple, comment aider le pays à caractériser l'évolution du climat ?) et, d'autre part, en tant qu'élément à intégrer dans les

ONG, industriels, organismes scientifiques, organismes de développement... La CCNUCC a également permis de mettre en commun une grande quantité d'informations mises à disposition dans son *Compendium on methods and tools*.

Le programme de travail de Nairobi s'adresse autant aux pays développés qu'aux pays en développement. Les pays développés sont, en effet, eux aussi exposés aux risques climatiques, et la plupart d'entre eux se sont dotés de stratégies d'adaptation. En France, l'ONERC (Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique) a été créé, dès 2001, à l'initiative de Paul Vergès, Sénateur de la



© Fred Guerdin/REPORTERS-REA

« Par ailleurs, il est encore rarement possible d'être précis en matière d'évolution future des phénomènes se produisant sur une petite échelle, comme, par exemple, les cyclones tropicaux ou, a fortiori, les orages. » Hautmont (dans le département du Nord) le 12 août 2008, neuf jours après le passage d'une tornade.

projets de développement (par exemple, comment tenir compte de la hausse du niveau de la mer dans l'aménagement d'un port ?).

La CCNUCC a lancé en 2005 un programme de travail destiné à aider tous les pays à améliorer leur compréhension des effets du changement climatique afin de préparer de manière pratique leurs actions d'adaptation. Il s'agit du programme de travail de Nairobi sur les impacts, la vulnérabilité et l'adaptation au changement climatique (voir encadré), dont les résultats sont facilement accessibles sur le site Internet de la CCNUCC (8). Cette plateforme d'échanges et de formation est structurée en neuf domaines (voir encadré). Le programme rassemble plus de 130 organismes participants : agences des Nations Unies,

Réunion, qui a été un précurseur dans ce domaine. Le premier rapport de l'ONERC au Premier ministre et au Parlement (9) insistait déjà sur la nécessité de préparer l'adaptation. La France s'est dotée d'une stratégie nationale d'adaptation dès 2006 (10) et la plupart des pays développés s'efforcent, aujourd'hui, de mieux cerner les conséquences et les coûts des impacts du changement climatique et de l'adaptation à celui-ci, afin de préparer des politiques publiques dans ce domaine. Plus récemment, la Commission des communautés européennes a publié un Livre blanc sur l'adaptation au changement climatique (11), qui précise ses positions sur ces questions, et propose la mise en place d'un mécanisme de coordination des activités des Etats membres en la matière.

## Les neuf axes de travail du Programme de Nairobi sur les impacts, la vulnérabilité et l'adaptation au changement climatique

L'adaptation fait partie des cinq sujets clés de négociation, dans le cadre de la CCNUCC, en vue de parvenir à une pleine application de la Convention après le protocole de Kyoto, et l'on peut augurer qu'il n'y aura pas d'accord avec les pays en développement si ce point n'est pas traité d'une manière satisfaisante pour eux. Leurs demandes, dans ce cadre, concernent le financement, les transferts de technologies et le renforcement des capacités. Ce sera sans aucun doute un des sujets majeurs de discussion, lors de la 15<sup>e</sup> Conférence des parties prenantes à la CCNUCC, qui se tiendra à Copenhague en décembre 2009.

Le financement de l'adaptation constitue une question cruciale. En dépit des difficultés conceptuelles de ce type d'exercice, de premières évaluations globales des financements nécessaires pour aider les pays en développement à s'adapter ont été effectuées. Celles-ci font état de montants de l'ordre de 10 à 50 milliards de dollars par an (13). Les pays en développement demandent que ces financements viennent en sus de l'aide au développement actuelle, et ils souhaitent avoir un accès direct à la gestion de ces fonds. Pour les pays donateurs, il importe avant tout que les activités couvertes par l'adaptation soient clairement définies, et que l'adaptation soit intégrée à l'ensemble des politiques publiques des pays destinataires des fonds. La définition des règles de fonctionnement des fonds qui seront mis en place constitue donc un aspect essentiel de ces négociations.

Un débat prend place actuellement sur le rôle possible de l'assurance dans l'adaptation. Un certain nombre de risques, y compris climatiques, peuvent être couverts à travers le mécanisme économique de l'offre et de la demande, dans le cadre du marché des assurances, et, depuis quelques années, par les *dérivés climatiques* (pour certaines entreprises dont les activités sont sensibles au climat) (13). Tout comme l'atténuation, pour laquelle a été créé récemment un marché du carbone, l'adaptation a donc également son mécanisme de marché, celui de l'assurance. Ce système permet de répartir les pertes encourues, tout en se régulant de lui-même tant que les calculs des actuaires se vérifient. Une meilleure couverture assurantielle, y compris des catégories sociales les plus défavorisées, permettrait dans doute de mieux mutualiser certains risques. La possibilité de mettre en place des mécanismes de ce type, intégrés dans les plans nationaux d'adaptation et financés internationalement, est donc à l'étude. Cependant, la couverture assurantielle des catégories sociales démunies est pratiquement inexistante dans les pays en développement. Sans négliger l'intérêt de cette approche, il semble toutefois évident qu'elle ne pourra jouer qu'en complément d'actions de fond engagées par des États, portant notamment sur les réglementations et sur le financement d'infrastructures.

De même, les fonds créés jusqu'à présent dans le cadre de la CCNUCC pour financer l'adaptation (qui s'élèvent à quelques centaines de millions de dollars) ne sont pas à la hauteur des besoins. Un des principaux défis de la

### Encadré 2

#### Les neuf axes de travail du Programme de Nairobi :

1. Méthodes et outils
2. Données et observations
3. Modélisation du climat, scénarios et descente d'échelle
4. Risques en lien avec le climat et les événements extrêmes
5. Informations socioéconomiques
6. Planification et pratique de l'adaptation
7. Recherche
8. Technologies pour l'adaptation
9. Diversification économique

Conférence de Copenhague, dans le cadre de l'adaptation, sera donc de trouver de nouveaux mécanismes de financement. L'idée semble faire son chemin, de procéder à des prélèvements sur la création de permis d'émissions de CO<sub>2</sub>, ce qui serait en accord avec le principe pollueur-payeur. L'Union européenne pourrait participer au financement des actions d'atténuation du changement climatique et aussi au financement des actions d'adaptation à celui-ci, en particulier par le biais du marché du carbone, dans le cadre d'un accord international plus large. Les revenus annuels d'enchères (dans le cadre du marché européen d'échanges de droits d'émissions) pourraient atteindre 75 milliards d'euros en 2020, dont quelques milliards pourraient ainsi être affectés aux actions d'adaptation dans les pays en développement.

### Développements récents et perspectives

Le 13 décembre 2008, devant la conférence de la CCNUCC à Poznan (Pologne), Al Gore prononçait les paroles suivantes (15) : « *We, the human species, have arrived at a moment of fateful decision. It is unprecedented and in some ways even laughable to imagine that we could actually make a conscious choice as a species.* » [« *Nous, l'espèce humaine, nous sommes arrivés au moment où nous devons prendre une décision qui engage notre sort : imaginer que nous serions amenés un jour à opérer un choix conscient en tant qu'espèce, c'est là quelque chose d'inouï, et même, par certains côtés, de comique...* »]

Il est en effet permis d'estimer que l'évolution de l'humanité a été jusqu'à présent le résultat du hasard et de rapports de force, le plus souvent de nature économique. Le résultat est que nous avons attiré sur nous une malédiction dont la plupart d'entre nous ne souffriront pas, mais qui frappera d'autant plus sévèrement notre descendance : moins d'espace, moins d'énergie, moins d'eau, moins de nourriture... bref, une dégradation générale de notre environnement.

Les sociétés passées ont pu accepter, avec une capacité d'indifférence que nous ne sommes plus à même d'imaginer, que la grande majorité des hommes vivent dans des conditions misérables et indignes. Sans même avoir à remonter aux époques les plus sombres de l'esclavage, notre société

accepte encore aujourd'hui les conditions déplorables dans lesquelles vivent une partie des Africains, les habitants des pays en conflit ou des populations défavorisées des grandes métropoles, dont le nombre est croissant, y compris chez nous. Le changement climatique accroîtra encore ces pressions et il peut, dès aujourd'hui, nous servir de révélateur de difficultés que nous affrontons dès à présent.

Les approches du passé ne pourront pas traiter les questions d'ampleur globale qui se posent. André Lebeau (15), à travers un raisonnement implacable, s'appuyant notamment sur les travaux de Jared Diamond, qui décrivent de quelle manière certaines sociétés passées ont disparu, a prédit le triste destin que risque d'être celui de l'humanité, du fait de modes de développement inconsidérés. S'il demeure sceptique sur la possibilité de renverser cette tendance, il ressort de ses réflexions que le seul espoir de tempérer les effets néfastes qu'a, sur l'homme lui-même, son emprise sur la nature réside dans le fait qu'il fasse les bons choix, consciemment et au niveau global.

Beaucoup d'hommes politiques et de patrons d'entreprises n'ont sans doute pas su anticiper les évolutions techniques, sociales et morales, soit en raison d'une incapacité propre (peut-être d'origine culturelle), soit parce que leur objectif premier est le maintien de l'organisation dont ils ont la charge. On peut citer, à titre d'exemple, l'attitude très négative des industriels de l'automobile envers les véhicules électriques, qui ne s'est infléchie que très récemment, face à l'évidence. Les grandes évolutions, inéluctables, qui sont ainsi retardées, risquent dès lors de se produire dans des conditions beaucoup plus difficiles, voire même violentes.

Le traitement du changement climatique et de ses effets ne pourra se faire qu'en liaison avec celui des autres évolutions de l'environnement et de la société. Mais sa nécessité apparaît sans doute plus évidente, en raison de la nature globale du problème. Les actions d'atténuation, sans être nécessairement plus aisées à mettre en œuvre, sont plus faciles à identifier que les actions d'adaptation : elles sont essentiellement liées à la politique énergétique, à l'agriculture et à la forêt. En revanche, l'adaptation s'adresse à tous les secteurs d'activité, et se fera en grande partie par des actions au niveau local et à travers l'adaptation spontanée, ou le marché des assurances. Toutefois, la limiter à des actions locales et relevant du marché, un cadre bien défini au niveau des États et au plan international, risquerait de ne faire que reporter nombre de dommages pesant sur certaines catégories sociales sur d'autres. On se trouverait alors en présence d'un ensemble hétéroclite d'actions incohérentes, souvent

nuisibles à l'ensemble de la société et à l'environnement. C'est pourquoi il est nécessaire de planifier ces actions aux divers niveaux local, national et international et de prévoir des flux financiers convenablement orientés.

### Notes

\* Point focal pour la France du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), ancien directeur de l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC), actuellement directeur des affaires internationales à Météo France.

(1) Voir, par exemple, la Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des Régions : *Vers un accord global en matière de changement climatique à Copenhague*, Com (2009) n° 39 du 28.1.2009.

(2) 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation du GIEC, 2007.

(3) 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation du GIEC, 2007, glossaire du rapport du Groupe 2.

(4) Voir <http://www.prim.net>

(5) GIEC, Rapport d'évaluation, 2007, résumé technique du rapport du Groupe 2.

(6) Jared Diamond, *Effondrement. Comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie*, Gallimard, Paris, 2006. Édition originale : *Collapse. How Societies Choose to Fail or Succeed*, Penguin Books, Londres, 2005 (page 556 de l'édition française).

(7) L'auteur fait allusion à douze problèmes majeurs, de nature écologique ou démographique, identifiés de par le monde et qu'il décrit dans son ouvrage de manière détaillée.

(8) [http://unfccc.int/adaptation/sbsta\\_agenda\\_item\\_adaptation/items/3633.php](http://unfccc.int/adaptation/sbsta_agenda_item_adaptation/items/3633.php)

(9) Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique, 2005 : *Un climat à la dérive : comment s'adapter ? Rapport au Premier ministre et au Parlement*, La Documentation Française, 109 pp.

(10) Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique, 2007 : *Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique*, La Documentation Française, 95 pp.

(11) Commission des Communautés européennes, 2009 : Livre blanc : *Adaptation au changement climatique : Vers un cadre d'action européen*, Com (2009), n° 147.

(12) *Adapting to climate change*, Oxfam briefing paper, mai 2007.

(13) Voir, par exemple, Didier Marteau, Jean Carle, Stéphane Fourneaux, Ralph Holz, Michael Moreno, *La gestion du risque climatique*, Economica, Paris, 2004.

(14) [http://blog.algore.com/2008/12/speech\\_in\\_poznan.html](http://blog.algore.com/2008/12/speech_in_poznan.html)

(15) André Lebeau, 2008 : *L'enfermement planétaire*, Collection Le Débat, Gallimard, 320 pp.

# La politique de la France en matière d'adaptation au changement climatique

La politique climatique de la France repose sur deux piliers : réduire les émissions de gaz à effet de serre (« atténuation ») et se préparer aux changements climatiques, désormais inéluctables (« adaptation »). Si la plupart des secteurs d'activité et de vie se considèrent aujourd'hui concernés par l'atténuation du changement climatique, notamment du fait d'objectifs contraignants internationaux et européens, il est important que ces mêmes secteurs s'approprient également la problématique de l'adaptation au changement climatique.

par Pascal DUPUIS\*

Les enjeux de l'adaptation sont de taille : ils sont largement comparables à ceux de l'atténuation. En novembre 2008, l'UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) estimait entre 49 et 171 milliards de dollars américains (au cours de 2005) les besoins globaux de financement supplémentaires pour l'adaptation au changement climatique à l'horizon 2030 (1). Pour mémoire, selon la même source, les besoins en financements supplémentaires liés à l'atténuation seraient du même ordre de grandeur pour la période, soit environ 200 milliards de dollars (valeur 2005).

Cet article a pour objet de présenter le dispositif mis en place pour élaborer, puis mener à bien, la politique française en matière d'adaptation. Il détaille tout d'abord le cadre institutionnel, présente la stratégie nationale élaborée en 2006 et les travaux en cours pour lui donner corps et la « territorialiser », décrit ensuite sa composante extérieure et, enfin, le cadre dans lequel va être élaboré un programme national d'adaptation qui, au-delà de la seule stratégie, va décliner des mesures à mettre en œuvre.

## Le dispositif institutionnel

### L'ONERC

La loi du 19 février 2001 a donné à la lutte contre l'effet de serre un caractère de priorité nationale et a, dans le même temps, reconnu l'importance qu'il y a à disposer d'une politique d'adaptation au changement climatique. En créant l'Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC), cette loi lui a confié la mission de formuler des recommandations en matière de prévention et d'adaptation aux risques liés au réchauffement climatique.

L'ONERC, que préside Paul Vergès, est doté d'un Conseil d'orientation composé de représentants de l'Etat, du

Parlement et des collectivités territoriales, et de scientifiques. Il a pour mission de collecter et de diffuser les informations, études et recherches sur les risques liés au réchauffement climatique et aux phénomènes climatiques extrêmes.

Le partage et la diffusion de la connaissance sont, en effet, deux enjeux essentiels de la politique d'adaptation, étant donné les nombreuses incertitudes qui subsistent aujourd'hui. Il faut décider au mieux, dans un contexte d'incertitude quant à l'ampleur exacte des impacts du changement climatique, en valorisant l'ensemble des résultats de la recherche, voire en anticipant sur certains résultats. C'est pourquoi l'ONERC travaille en liaison avec le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), au sein de l'ONU. Il joue ainsi le rôle de point focal de la France pour le GIEC, et il participe aux négociations internationales.

Le premier rapport de l'ONERC, intitulé « Un climat à la dérive, comment s'adapter ? », remis au Premier ministre et au Parlement en 2005, a servi de base à la définition d'une stratégie nationale d'adaptation.

### Le MEEDDM

Le ministère de l'Environnement, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire, devenu ministère de l'Environnement, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer, en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat (MEEDDM) est conçu de manière à regrouper tous les départements techniques, dont l'action doit contribuer à mettre notre pays sur la voie d'un développement durable. Il comprend notamment un pôle « Transports », un pôle « Risques », un pôle « Aménagement, logement, nature » et un pôle « Energie, air et climat ». Ce dernier pôle est constitué par la Direction générale de l'Energie et du Climat (DGEC), qui ras-

semble les problématiques de l'énergie, de la qualité de l'air et du climat – trois thèmes largement imbriqués entre eux.

Ce mariage de l'énergie et du climat est une première dans l'histoire institutionnelle française, et il est plutôt inédit en Europe. Mais il a éveillé un intérêt marqué de la part de nos partenaires ; il a déjà été repris par le Royaume-Uni en 2008, avec la création d'un Secrétariat d'Etat à l'énergie et au climat, et il semble avoir été envisagé, un temps, par la Commission européenne. Cela montre à quel point la préoccupation climatique est de plus en plus présente, allant jusqu'à questionner le positionnement d'une activité régaliennne comme l'énergie, plutôt associée jusqu'ici à l'industrie et à l'économie qu'au climat et à la qualité de l'air.

En parfaite cohérence avec cette nouvelle organisation, l'ONERC est désormais rattaché à la DGEC, ce qui complète le dispositif administratif et regroupe ces deux piliers d'une politique climatique équilibrée, que sont l'atténuation et l'adaptation.

### La stratégie nationale d'adaptation

L'adaptation concerne tous les secteurs exposés aux conséquences possibles du réchauffement climatique. Elle doit associer des politiques nationales, une approche au niveau local et une implication des acteurs socio-économiques dans un cadre participatif, afin de prendre en compte les éléments liés au climat dans les divers mécanismes de décision. La solidarité nationale doit s'exercer en présence de catastrophes, comme c'est déjà le cas pour le régime d'assurances « catastrophes naturelles », lequel bénéficie de la garantie ultime de l'Etat. Pour autant, l'Etat ne peut assumer le coût des réponses à apporter à des problèmes chroniques. Par ailleurs, une stratégie d'adaptation ne peut se résumer à la seule contrainte réglementaire ou à l'octroi de subventions. C'est l'ensemble des décideurs, privés et publics, qui doivent intégrer l'adaptation dans leurs choix stratégiques.

Par ailleurs, l'adaptation ne peut se limiter à des actions visant à minimiser des dommages prévisibles à court terme : limiter la consommation d'eau et d'énergie en période de sécheresse, encourager la climatisation en période de canicule, abaisser la vitesse des automobiles en période de pollution, etc. L'intervention doit également concerner le long terme, dans le sens d'une meilleure protection des personnes et des biens, d'une meilleure gestion des ressources naturelles, ainsi que d'un aménagement judicieux du territoire.

Des travaux ont été menés selon ce cadrage (associant et responsabilisant tous les acteurs, dans une vision prospective de long terme), pour élaborer et définir une stratégie nationale. Celle-ci a été adoptée le 13 novembre 2006 sur la base de propositions de l'ONERC. Elle a, pour une part, une vocation pédagogique, en clarifiant certains concepts et en définissant les premières orientations.

La mise en œuvre de l'adaptation est guidée notamment par l'application des principes suivants :

- ✓ la recherche de l'équité, qui exige d'associer toutes les collectivités et catégories socioprofessionnelles suscep-

tibles de subir les conséquences du changement climatique ;

- ✓ l'anticipation des situations de crise ;
- ✓ la prise en compte du fait que le recours aux dispositifs de mutualisation, privés ou publics, ne permettra pas de répondre à toutes les situations et pourra, même, retarder des décisions d'adaptation nécessaires ;
- ✓ le fait que les aides et les subventions ne doivent pas conduire à pérenniser des situations sans issue, mais plutôt viser à favoriser les évolutions et les diversifications économiques dans une optique de développement durable ;
- ✓ la bonne articulation avec l'atténuation ;
- ✓ la recherche d'actions présentant d'autres avantages, en dehors du changement climatique.

La stratégie nationale d'adaptation poursuit quatre grandes finalités, qui sous-tendent l'ensemble des mesures à mettre en place :

- ✓ la première finalité est de protéger les personnes et les biens, en agissant dans les domaines de la sécurité et de la santé publique : cette question se posera avec d'autant plus d'acuité que les facteurs extrêmes de type catastrophique (canicules, tempêtes, etc.) vont déterminer l'essentiel des actions, même si la question de l'anticipation des tendances lourdes (températures, régime des précipitations, etc.) reste tout aussi importante ;
- ✓ il convient aussi de tenir compte des aspects sociaux et d'éviter les inégalités devant les risques : le GIEC souligne que « les effets de l'évolution climatique s'exerceront de façon disproportionnée sur les populations déshéritées dans tous les pays, renforçant ainsi les inégalités » ;
- ✓ il faut, troisièmement, limiter les coûts. Des politiques préventives d'adaptation auront pour objectif de les réduire ou de les éviter et de tirer parti des avantages que permettra l'anticipation ;
- ✓ il faut, enfin, préserver le patrimoine naturel : la dégradation des écosystèmes peut, elle aussi, accroître la vulnérabilité des milieux et des communautés, le risque de perturbations brutales, telle la propagation de nouvelles maladies, ou encore amplifier les effets des bouleversements climatiques à l'échelle de grandes régions du monde.

Les principales recommandations formulées dans le cadre de cette stratégie concernent tout d'abord le développement de la connaissance et de l'information des acteurs. La publication du 4<sup>e</sup> rapport du GIEC, en 2007, a montré non seulement que la prise de décision devait se fonder sur une connaissance et un argumentaire complets, mais aussi que l'incertitude restait importante, malgré les moyens mis en œuvre. Cette incertitude est l'un des freins à la prise de décision, et il convient d'aller plus loin dans la connaissance des facteurs du changement climatique et de ses incidences.

A cet égard, les échanges d'informations entre les différents décideurs concernés par les changements climatiques doivent être multipliés. Les échanges d'expertise et d'expériences entre collectivités ou entre acteurs doivent également être développés à tous les niveaux : territorial, national, communautaire et international (voir encadré 1).

**Encadré 1**

En matière de mise en œuvre des mesures d'adaptation, **plusieurs stratégies peuvent guider le choix des décideurs**, dans une situation d'incertitude, comme le montrent les travaux de S. Hallegatte, chercheur au CIRED :

- ✓ *l'institutionnalisation de la planification à long terme.* Ainsi, en Californie, tous les distributeurs d'eau doivent établir un plan à 25 ans, révisé tous les cinq ans. Cette solution présente l'avantage de créer des liens et des réseaux entre les différents acteurs ;
- ✓ *la sélection de stratégies « sans regret ».* A Copenhague, les débits des systèmes de drainage sont systématiquement augmentés de 70 % par rapport aux besoins actuels, ce taux permettant d'assurer le bon fonctionnement des installations quel que soit le scénario climatique envisagé ;
- ✓ *la valorisation des stratégies réversibles et flexibles.* Le fait que l'urbanisation d'une zone est une décision difficilement réversible doit être pris en compte ;
- ✓ *la réduction de la durée de vie des investissements.* Dans le domaine de la gestion forestière, cela peut conduire à garder une marge de manœuvre d'adaptation en fonction des changements climatiques effectifs, en portant un regard particulier sur la durée des rotations des espèces d'arbres.

### **Les travaux du groupe interministériel « Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France »**

La stratégie nationale d'adaptation recommandait la création d'un groupe de travail impliquant l'ensemble des ministères, afin d'évaluer le coût des impacts liés au changement climatique et de l'adaptation à celui-ci, en France.

Un groupe, piloté par l'ONERC et associant les différents départements ministériels concernés (Agriculture et forêts, Pêche, Santé, Aménagement du Territoire, Énergie, etc.) a été créé en 2007 pour évaluer le coût des impacts du changement climatique, ainsi que les mesures pertinentes à mettre en œuvre. Constitué de sous-groupes thématiques (santé – agriculture, forêt et ressources en eau – urbanisme, cadre bâti et infrastructures de transports – énergie – tourisme – risques naturels et assurance – territoires), il a eu pour tâches d'identifier les principaux impacts, d'en évaluer l'importance et d'esquisser les premières mesures à adopter.

Le cadrage des travaux a été effectué grâce à l'expertise méthodologique apportée par Météo-France, qui assure l'homogénéité des scénarios et des hypothèses climatiques de référence. Des lignes directrices ont été données pour l'établissement de rapports sectoriels homogènes. Afin de

garantir une pleine appropriation des travaux par les ministères concernés, l'option a été prise de ne pas externaliser l'élaboration des rapports sectoriels, mais de confier à chaque direction de l'administration concernée au premier chef le pilotage d'un sous-groupe dédié à l'évaluation de son secteur. Chacun des groupes sectoriels a ainsi élaboré son propre rapport, en concertation avec les services et les partenaires concernés du monde économique et industriel (EDF, GDF, assureurs, Veolia) ou des centres de recherche (CIRED, CSTB, INRA, BRGM).

Cette première phase a donné lieu à la tenue d'un atelier de synthèse, en avril 2008, et à l'élaboration d'un premier rapport, à l'été 2008 (2). La seconde phase vise à quantifier, puis à monétariser le coût des impacts et des mesures d'adaptation associées. Les questions relatives à la biodiversité et à l'eau y ont été intégrées. Un rapport de synthèse sera rendu public, en septembre 2009, et un séminaire de restitution se tiendra en fin d'année 2009.

Ces travaux serviront de référence à l'élaboration du futur plan national d'adaptation au changement climatique, prévu pour 2011 dans le projet de loi de programme relatif à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement.

Si ce premier travail d'évaluation s'est heurté à de sérieuses difficultés – incertitude des projections, manque d'évaluations ex-post d'expériences passées (évaluation économique de la canicule de 2003, d'événements extrêmes...), traitement des effets indirects et des interactions sectorielles –, il a été un facteur de sensibilisation, de mise au point méthodologique et de mobilisation des nombreuses administrations impliquées ; il permet aussi d'esquisser des recommandations en termes d'études et de programmes de recherche.

### **Le dispositif territorial**

Une politique nationale d'adaptation ne peut se concevoir sans la participation active des collectivités territoriales, aux côtés de l'État et de l'Union européenne, selon le principe de subsidiarité. En effet, les impacts effectifs du changement climatique sur un territoire donné et sa capacité d'adaptation sont très fortement liés aux caractéristiques locales (socio-économiques, institutionnelles et culturelles).

Certaines collectivités territoriales ont déjà amorcé une réflexion sur la question de l'adaptation au changement climatique. Ainsi, la Ville de Paris aborde la question des canicules dans son Livre blanc, en notant que « le comportement du bâtiment en situation de canicule est ressenti aujourd'hui comme l'enjeu principal en matière d'adaptation, pas seulement au titre du confort, mais surtout pour des objectifs de santé publique. » Les régions Île-de-France, Réunion, Provence-Alpes-Côte d'Azur, le département de la Martinique, notamment, ont organisé des colloques importants sur la question des impacts du changement climatique et de l'adaptation à celui-ci. Des études exhaustives ont été réalisées (ou sont en cours) dans plusieurs régions ou collectivités : Grand Sud-Est, Loire, Rhône-Alpes, Lorraine, Nord, Bretagne...



© François Jourdan/ALTITUDE

« Ce sont les plans "Climat énergie" territoriaux, établis aux différents niveaux des collectivités locales et sous leur responsabilité, qui ont valeur de plans d'action. » Fossés anti-inondations des terres à Vic-la-Gardiole (dans le département de l'Hérault).

Pour cadrer cette nécessaire « territorialisation » des politiques en matière de climat, air et énergie, le projet de loi de transition environnementale institue des schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie réalisés conjointement par le préfet de région et le Président du conseil régional.

Le schéma régional est un document stratégique charnière entre les politiques nationales et leur mise en œuvre au niveau local. Il vise à renforcer la cohérence de l'action locale, en donnant aux collectivités territoriales en charge de la dimension opérationnelle des orientations et un cadrage régional. A ce titre, les schémas rassemblent désormais, dans un seul document, les orientations de la lutte contre l'effet de serre et contre la pollution atmosphérique, celles relatives à la maîtrise de l'énergie et au développement des énergies renouvelables et celles de l'adaptation au changement climatique. Ils intègrent les anciens dispositifs des plans régionaux pour la qualité de l'air et des schémas régionaux éoliens. Dans le cadre de l'adaptation au changement climatique, le schéma régional pourrait notamment préconiser un aménagement cohérent au regard de ses impacts sur le cycle de l'eau : maîtrise du risque d'inondation, amélioration de la qualité de l'eau, maîtrise des prélèvements, préservation et restauration des milieux.

Ces schémas, de nature essentiellement stratégique, donnent des orientations, mais ils ne comportent pas de mesures d'application. Ce sont les plans « Climat énergie »

territoriaux, établis aux différents niveaux des collectivités locales et sous leur responsabilité, qui ont valeur de plans d'actions. Le projet de loi donne ainsi un cadre assurant la cohérence de l'action aux différents niveaux.

Les démarches des plans « Climat énergie » territoriaux ont pour ambition de réaliser, en fonction des enjeux et des spécificités locales, une intégration entre atténuation et adaptation. En effet, il ne sert à rien de réduire ses émissions de gaz à effet de serre si les paramètres d'un environnement en plein bouleversement ne sont pas pris en compte dans la définition des stratégies de développement territorial. Il s'agira d'y articuler la stratégie d'adaptation et celle d'atténuation, avec le relevé des impacts du changement climatique déjà constatés sur le territoire, avec notamment leurs conséquences sociales et l'analyse de la vulnérabilité du territoire aux événements climatiques futurs et de sa nécessaire adaptation.

### **Les volets communautaire et international en matière d'adaptation**

Au niveau communautaire, la Commission a publié en 2007 un Livre Vert (*Adaptation au changement climatique en Europe : les possibilités d'action de l'Union européenne*) invitant les Etats membres à faire des propositions pour réduire les risques et les dommages liés aux incidences

négligées, actuelles et futures, du changement climatique, d'une manière économiquement efficace et, le cas échéant, à tirer parti de ses avantages possibles.

Ce Livre Vert a été suivi d'un Livre Blanc, au 1<sup>er</sup> avril 2009. Ce document prévoit deux phases : la première, jusqu'en 2012, devra permettre de compléter les connaissances sur le changement climatique, ses effets et les coûts associés. Après 2012, une seconde phase verra l'Union instaurer une stratégie d'adaptation.

Comparativement à ses voisins européens, la France fait partie des pays les plus avancés dans la définition des processus d'adaptation puisque seuls huit pays de l'Union ont d'ores et déjà établi une stratégie, et que la France vise, dès 2011, un plan d'adaptation qui sera la suite opérationnelle du document de stratégie.

En termes de coopération avec les pays en développement, sur le plan multilatéral, la France est un contributeur majeur au Fonds pour l'Environnement Mondial ainsi qu'au Fonds européen pour le Développement. Ces deux mécanismes financiers mettent en œuvre des actions visant à appuyer l'adaptation de zones vulnérables ou à contribuer à l'atténuation des conséquences du changement climatique.

Dans le cadre de son aide publique bilatérale au développement, la France agit dans les domaines de l'adaptation au changement climatique, notamment au travers des actions du ministère des Affaires étrangères, du Fonds français pour l'Environnement Mondial ainsi que de l'Agence Française de Développement. Sur la période 2005-2008, les actions « Climat » de l'AFD ont connu un fort développement : celle-ci estime à 1,8 milliard d'euros le montant de son action pour le volet climatique, dont une partie concerne directement l'adaptation (voir encadré 2).

Enfin, au niveau international, les travaux dans le cadre de l'UNFCCC jouent un rôle essentiel, avec des enjeux financiers à l'horizon 2030 (rappelés en introduction) variant entre 49 et 171 milliards de dollars (valeur 2005). L'article de Marc Gillet, dans ce numéro de Responsabilité et Environnement, éclaire le cheminement de la concertation internationale, d'une conférence à l'autre. La France agit dans le cadre de l'Union européenne, dont la position est rappelée dans la récente communication de la Commission en vue de l'accord de Copenhague. Celle-ci souligne notamment que cet accord devra comporter :

- ✓ la nécessité, pour tous, de s'adapter, sachant que seule une anticipation suffisamment précoce pourra limiter les dommages les plus importants ;
- ✓ un engagement à intégrer systématiquement l'adaptation dans les stratégies nationales ;
- ✓ l'engagement d'améliorer les outils nécessaires à la définition et à la mise en œuvre des stratégies d'adaptation.

### Le plan national d'adaptation

Le projet de loi de programme relatif à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement vise à la mise en place d'un plan national d'adaptation au changement climatique à l'horizon 2011. Il s'agit d'un document qui, au-delà de la

### Encadré 2

#### Quelques projets récents à l'international :

- ✓ le projet RIPIECSA contribue, depuis 2007, à favoriser l'émergence d'une communauté de chercheurs en Afrique de l'Ouest, qui soit à même de contribuer à l'analyse du phénomène du changement climatique, notamment dans sa dimension Adaptation ;
- ✓ le projet régional d'« Appui à la mise en place d'un système de vigilance en Afrique – VigiRisc Afrique » s'intéressera également aux aspects de surveillance des effets du changement climatique, et s'inscrira dans une logique d'actions concrètes pour l'adaptation au changement climatique en Afrique de l'Ouest ;
- ✓ le projet régional « Adaptation aux changements climatiques dans les Etats de l'Océan Indien » a été lancé en février 2009 ;
- ✓ la société civile est également un acteur important dans la stratégie de financement de l'adaptation : en mai 2009, un outil de financement de microprojets a été mis en place par le FFEM, à destination des ONG et du secteur associatif des pays du Sud œuvrant pour l'adaptation au changement climatique.

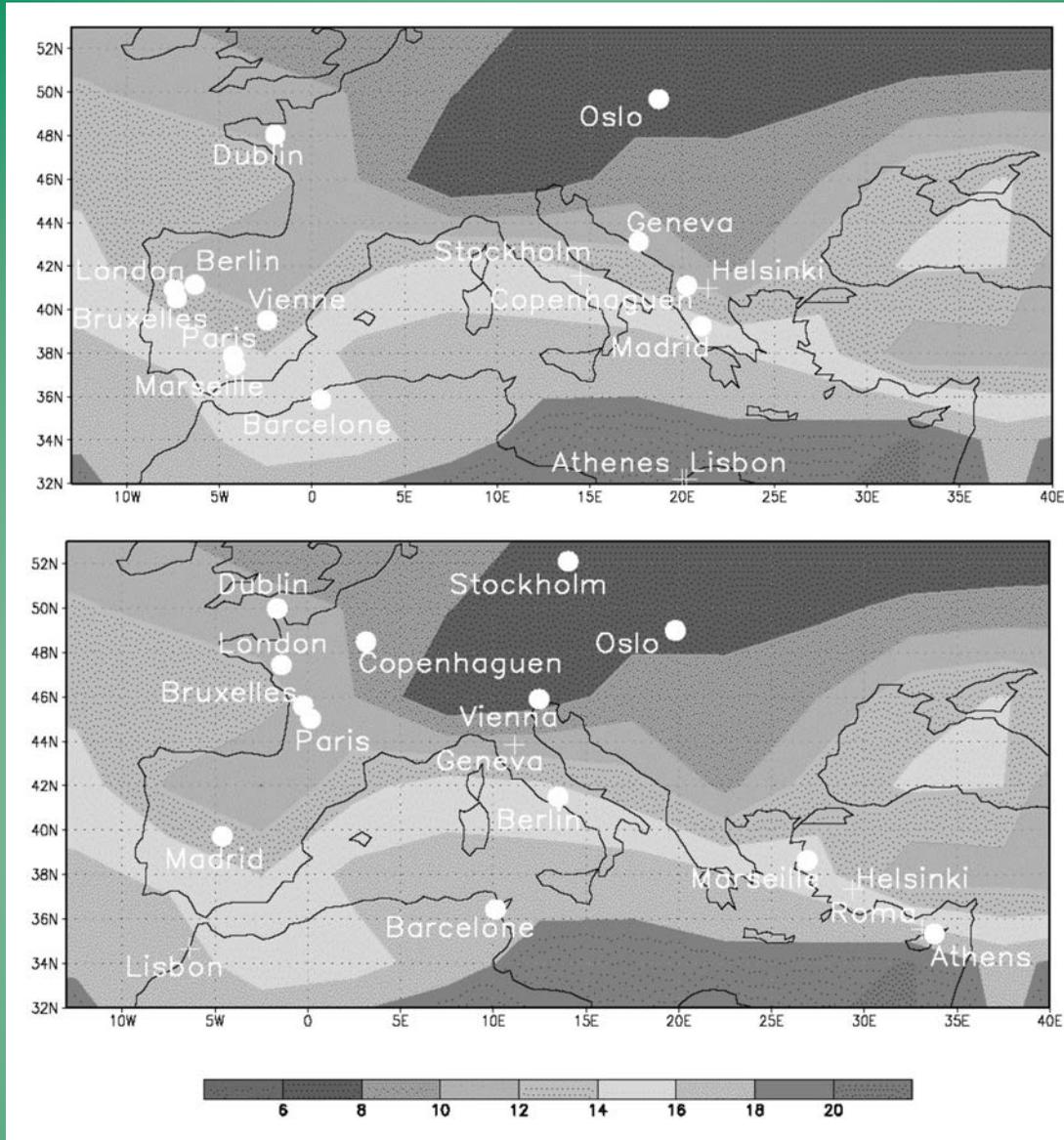
simple stratégie, aura un contenu programmatique et proposera des mesures à mettre en œuvre.

La communication en Conseil des ministres, le 13 février dernier, du ministre d'État, ministre de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire fixe une feuille de route pour l'élaboration de ce plan.

Le MEEDDM organisera, avant la fin de l'année 2009, un colloque largement ouvert aux entreprises et aux collectivités, afin de partager la stratégie nationale d'adaptation et les résultats des travaux qui vont aboutir en 2009. Ce colloque constituera le point de départ des travaux d'élaboration du plan national, qui feront l'objet d'une large concertation, sur le modèle du Grenelle de l'Environnement.

Au niveau ministériel, le ministère de l'Agriculture a engagé un travail de préparation d'un plan d'adaptation de l'agriculture au changement climatique. Les conclusions de ce travail seront connues à la fin de l'année 2009. Pour sa part, le Haut Conseil de la Santé publique a, lui aussi, entamé une réflexion sur le thème de l'adaptation, dont les premières conclusions devraient être disponibles en fin d'année. Tous ces travaux permettront d'alimenter les débats, durant cette concertation qui se déroulera au cours de l'année 2010.

Après l'élaboration du plan national d'adaptation, celle des schémas régionaux « climat air énergie » et celle des plans « climat énergie » territoriaux, l'ensemble du dispositif en faveur de l'adaptation au changement climatique sera alors en place, permettant ainsi la mobilisation de tous les décideurs et acteurs, et l'engagement des actions néces-

**Encadré 3****Analogies climatiques en 2070,  
d'après Hallegatte, Ambrosi et Hourcade (2007)**

A titre d'exemple, les cartes ci-dessus présentent deux simulations climatiques effectuées à partir de modélisations différentes, mais tout aussi justifiable l'une que l'autre : la première (réalisée par Hadley Center, Royaume-Uni) donne un climat parisien proche, en 2070, de celui de Cordoue aujourd'hui, alors que la seconde (réalisée par Météo France) donne pour Paris, à la même date, un climat proche de celui que connaît aujourd'hui Bordeaux.

Le Grenelle de l'Environnement a lancé, cette année, un plan « Bâtiment », qui va s'appliquer jusqu'en 2050, pour la rénovation thermique du parc immobilier français. Il est certain que les poids respectifs donnés, dans ce programme, au confort d'été, à l'isolation de l'enveloppe, aux systèmes de chauffage et au rafraîchissement vont devoir être étudiés sérieusement, au regard de l'adaptation au changement climatique.

saires, comportant les arbitrages indispensables afin de faire face aux enjeux à venir.

Ce premier programme va marquer une étape importante dans le processus d'intégration de l'adaptation au changement climatique aux politiques publiques et aux décisions d'investissement. Il va permettre d'instiller la préoccupation de la réversibilité (quand c'est possible) et de la robustesse des choix vis-à-vis des aléas climatiques. Il conduira à une évaluation systématique des décisions au regard de leurs impacts en termes d'adaptation, ce qui est particulièrement important dans une période où de nombreuses mesures issues du Grenelle de l'Environnement

auront, dans leur mise en œuvre, un impact direct sur notre rapport au climat (voir encadré 3).

### Notes

\* Chef du Service Climat et Efficacité énergétique au MEEDDM (ministère de l'Environnement, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer, en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat).

(1) UNFCCC [2008], *Investment and financial flows to address climate change: an update*, FCCC/TP/2008/7, 26 November 2008.

(2) [http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport\\_complet\\_0907\\_allegeV2\\_20-11-08.pdf](http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_complet_0907_allegeV2_20-11-08.pdf)

## Cultivons notre planète : plus de biomasse, moins de gaz à effet de serre

Le XXI<sup>e</sup> siècle devra relever deux défis : *primo*, augmenter la production végétale de la planète pour faire face aux besoins croissants d'une population, qui devrait être de l'ordre de 8 à 9 milliards d'habitants en 2050 – besoins alimentaires, au premier chef, qui, selon certaines hypothèses (1) devraient doubler [1], besoins en énergie, sous différentes formes (carburants, combustibles), besoins en fibres et en divers autres produits de base des industries ; *secundo*, atténuer l'évolution, déjà amorcée, du climat et s'y adapter – l'atténuer, pour rester dans des limites où il est encore possible de s'y adapter, tant il est prudent de prévenir des processus d'emballage toujours possibles (2).

par François PAPY\*

La convention Climat instituée en 1992, au sommet de Rio-de-Janeiro, prévoit de diviser par 2 les émissions de gaz à effet de serre (GES), d'ici à 2050.

La photosynthèse, qui est à l'origine de la production de biomasse (ou production primaire), joue un rôle essentiel dans les échanges entre la biosphère et l'atmosphère ; elle consiste, en effet, en une bioconversion de l'énergie solaire en énergie chimique (la biomasse), qui fixe du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et contribue ainsi à atténuer le réchauffement climatique. C'est elle qui est à l'origine des réserves d'énergie fossile dont on libère le CO<sub>2</sub> lorsqu'on les brûle, cent millions d'années après qu'elles aient été constituées. Au cours de la période historique, la production de biomasse alimentaire a été obtenue par le défrichement de forêts et de couverts herbacés, provoquant ainsi des émissions de CO<sub>2</sub>. A partir de 1950, dans le monde industrialisé, l'agriculture a consommé de plus en plus d'énergie fossile, par suite du développement de la motorisation, de l'emploi d'engrais azotés et d'intrants de plus en plus nombreux, du chauffage de serres, du séchage des fourrages... Les émissions de CO<sub>2</sub> qui lui sont attribuables ont continué à augmenter très rapidement, et s'y sont ajouté des émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) (3) et de méthane (CH<sub>4</sub>) dues, pour les premières, essentiellement aux engrais azotés et, pour les secondes aux ruminants. Même s'il est vrai que l'agriculture n'utilise actuellement que 4 % des énergies fossiles, elle doit contribuer à l'effort général visant à les économiser. Comme on le voit, les relations entre la production des différentes formes de biomasse et les flux gazeux sont complexes et méritent examen.

Ajoutons à cela que jamais auparavant, dans le monde, les différentes formes d'utilisation des couverts végétaux n'avaient été aussi différenciées qu'aujourd'hui. Ici, une agriculture à très faibles rendements dispose encore de

place pour se développer au détriment des forêts ; mais là, c'est une agriculture utilisant beaucoup d'intrants qui s'installe sur des défrichements ; ailleurs encore, une forte intensification de l'utilisation des espaces cultivés pour les besoins alimentaires permet un certain reboisement ; ailleurs, enfin, l'espace disponible pour nourrir la population est tellement restreint que tous les terrains sont cultivés intensivement.

Ainsi, les termes des défis auquel nous sommes confrontés se précisent : il faut produire deux fois plus d'aliments tout en contribuant à diviser par deux les émissions de GES et tout en économisant les énergies fossiles, et ce, à partir de situations très inégales en matière d'utilisation des ressources.

### Remettons en lice le système agro-sylvo-pastoral

Qu'il soit forestier, herbacé ou cultivé, chacun de ces couverts végétaux aura une fonction spécifique pour atteindre l'objectif que nous visons. La forêt stocke 80 % du carbone de la biosphère terrestre, avec une nette différence entre la forêt tropicale humide et la forêt tempérée : celles-ci contiennent, respectivement, 220 tonnes et 80 tonnes de carbone par hectare (t C/ha) stockées dans la biomasse, mais aussi, respectivement, 160 et 100 t C/ha stockées dans le premier mètre de sol. Les champs cultivés en stockent beaucoup moins (seulement 6 t C/ha dans la biomasse d'une parcelle de céréales en Île-de-France, et 60 t C/ha dans le sol), les couverts herbacés (tels que les prairies) occupant une position intermédiaire [2]. Ces deux derniers types de couvert végétal servent essentiellement à nourrir les humains, soit directement, soit après transformation en produits carnés. C'est donc sur leur production que repose la réponse à apporter au défi alimentaire. La complémentar-

rité de ces couverts végétaux nous incite à les considérer dans leur ensemble, comme un système sur lequel il est pertinent de procéder à des bilans tant en termes d'énergie que de flux.

Au cours de l'ère préindustrielle, les forêts, les prairies et les champs étaient liés entre eux par des flux de matière : les champs bénéficiaient d'un transfert de fertilité en provenance des forêts et des prairies, les animaux d'élevage servant de vecteurs. S'ajoutait à cela, grâce aux animaux de trait, un transfert d'énergie depuis les prairies vers les champs. Mais après le triomphe de la « théorie minérale » (4), la généralisation des engrais minéraux a fortement distendu ces liaisons. La culture des champs s'est rendue indépendante des forêts et des prairies (5) et ces différents espaces se sont spécialisés. La liaison systémique qui existait entre les trois types de couvert végétal a disparu des esprits. Ce phénomène s'est amplifié depuis la seconde moitié du siècle dernier, tandis que, dans les pays industrialisés du Nord, les techniques de culture et d'élevage devenaient de plus en plus consommatrices d'énergie fossile et de plus en plus émettrices de GES ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  et  $\text{CH}_4$ ). A l'opposé, dans certains pays du Sud, notamment en Afrique subsaharienne, l'agriculture ne consomme pas d'énergie fossile, mais elle brûle ses forêts ou ses savanes : 5 millions d'hectares par an, entre 1975 et 2000, ce qui a libéré un milliard de tonnes de  $\text{CO}_2$ , soit un quart des émissions de l'Union européenne à 15 pays (6) [3]. A l'échelle planétaire, les défrichements de couverts pérennes produisent 18 % des émissions de GES. C'est pourquoi, dans l'objectif d'accroître la production alimentaire et de réduire les émissions de gaz à effet de serre, il devient, là encore, nécessaire de considérer l'ensemble agro-sylvo-pastoral comme un système, devenu désormais planétaire, en raison de l'ampleur de ses échanges gazeux avec l'atmosphère.

L'on trouve cette position, clairement exprimée, chez Riedacker [4]. Celui-ci propose une méthode d'évaluation environnementale planétaire intégrée (EPI), qui s'applique au processus de production primaire sur des territoires incluant l'ensemble agro-sylvo-pastoral. De ce fait, sa méthode se distingue des analyses de cycle de vie (ACV) (7), qui ne prennent en compte ni la dimension territoriale des processus qu'elles évaluent, ni les effets compensatoires qui s'y manifestent. Elle complète donc ces analyses. L'EPI peut être appliquée tant au niveau planétaire qu'au niveau local. Dans le premier cas, l'on établit des bilans territoriaux d'énergie fossile et de GES ; dans le second, l'on évalue les effets sur les ressources liées aux milieux : eau, sols, biocénose... Cette méthode permet de comparer les bilans environnementaux de différents scénarios d'augmentation de la production alimentaire totale sur un territoire : vaut-il mieux augmenter les rendements des champs cultivés ou vaut-il mieux défricher, là où ils existent encore, des couverts pérennes ? Au niveau planétaire, la réponse est sans ambiguïté : il faut augmenter les rendements. Sans doute faut-il, pour y arriver, utiliser des énergies fossiles, mais celles-ci augmentent avantageusement l'efficacité de la bioconversion de l'énergie solaire. Bien sûr, l'augmentation des rendements s'accompagne d'émissions de GES, mais éviter la déforestation per-

met d'en économiser bien davantage. L'on estime ainsi qu'entre 1950 et 2000 l'augmentation mondiale des rendements des cultures céréalières a permis d'éviter la déforestation de 1,1 milliard d'hectares de forêts, qu'il aurait fallu sacrifier pour obtenir la même production, tandis que, sur le territoire métropolitain, c'est le quart de la forêt française qui aurait dû disparaître pour obtenir la même production que celle qu'a permis d'atteindre l'augmentation des rendements agricoles durant la même période.

La question qui se pose alors est celle des rendements objectifs.

### Arrêtons la course au rendement maximum

La deuxième moitié du siècle dernier a vu, dans de nombreux pays industrialisés, puis, sous l'appellation de « révolution verte », dans des pays en développement, une augmentation très régulière des rendements des champs cultivés : celle-ci résulte de l'amélioration variétale de certaines espèces cultivées, de l'emploi d'engrais, puis de l'emploi de pesticides et de la motorisation. Appuyée par des politiques de soutien des prix ou de subventionnement des intrants, l'augmentation de la production qui s'en est suivie a permis d'éviter les famines à des populations en expansion. Cependant, cet accroissement continu des rendements atteint désormais ses limites.

Au cours de cette période, les agriculteurs visaient le maximum de produit récoltable à l'hectare, et les agronomes se référaient au rayonnement solaire global et au régime pluviométrique probable comme déterminant du potentiel de rendement, en tenant compte, bien sûr, de l'aptitude culturelle des terrains. Le catalogue d'inscription des variétés n'admettait que des variétés plus productives que les précédentes ; c'est ainsi que l'apparition de variétés de maïs hybrides a permis de réaliser un progrès considérable en matière de productivité. Mais l'augmentation des rendements constatée résulte aussi d'un recours croissant à l'énergie fossile, nécessaire, notamment, à la fixation industrielle de l'azote de l'air (procédé Haber-Bosch, découvert dès 1910), à raison d'une tonne et demie d'équivalent pétrole pour transformer une tonne d'azote en un engrais actif et, dans une bien moindre mesure, pour fabriquer d'autres intrants. Par ailleurs, l'usage de l'énergie fossile s'est largement développé, en raison de la motorisation de l'agriculture. Celle-ci a permis de libérer pour la production alimentaire humaine des surfaces qui étaient auparavant consacrées à l'alimentation des animaux de trait ; ainsi, en France, ce sont 6 millions d'hectares qui ont été ainsi libérés, sur les 27 millions d'hectares de la surface agricole utile totale. La culture du blé illustre bien cette évolution vers un usage de plus en plus important de produits chimiques de synthèse. Pour se rapprocher du potentiel maximal de rendement, avec des variétés sélectionnées à cette fin, il a fallu allonger la durée de captation de l'énergie solaire en avançant la date des semailles, augmenter l'interception du rayonnement solaire en semant dense et apporter une fertilisation azotée non limitante. L'apport d'azote a-t-il accru les risques de verse ? : les traitements



© Elyas Barbier/BIOSPHOTO

*« L'on estime ainsi qu'entre 1950 et 2000 l'augmentation mondiale des rendements des cultures céréalières a permis d'éviter la déforestation de 1,1 milliard d'hectares de forêts, qu'il aurait fallu sacrifier pour obtenir la même production, tandis que, sur le territoire métropolitain, c'est le quart de la forêt française qui aurait dû disparaître pour obtenir la même production que celle qu'a permis d'atteindre l'augmentation des rendements agricoles durant la même période. » Livraison de grain dans un silo, en Brie.*

raccourcisseurs de paille ont remédié à cet inconvénient ! L'avance des semis a-t-elle favorisé les adventices (« mauvaises herbes ») et les attaques de pucerons ? : peu importe, la panoplie des herbicides et des insecticides s'est enrichie, afin de maîtriser ces « bio-agresseurs ! Azote, semis précoces et denses, en cumulant leurs effets, ont-ils favorisé le développement des maladies cryptogamiques ? : les fongicides, autorisés à la vente en 1972 ont fait florès ! On pourrait encore, aujourd'hui, continuer dans ce sens, si l'on se fixait comme objectif les limites éco-physiologiques des espèces végétales améliorées. Le rendement potentiel du blé est estimé en France à 150 q/ha – selon Arvalis, Institut du Végétal (8) – et à 160 en Nouvelle-Zélande ; le maïs, plante classée en C4 et à faible photo-respiration, a des potentialités plus élevées encore, surtout dans les situations qui permettent de développer de longs cycles de végétation. Mais c'est le degré d'artificialisation du milieu, nécessaire pour atteindre ces potentialités, qui limite les objectifs de rendement qu'il est raisonnable de se fixer.

A l'échelon local, la pollution nitrique de l'eau de consommation courante n'apparaît qu'au milieu des années 1970 [5], donc longtemps après le début de l'intensification des années 1950, en raison d'un cycle interne au sol, fait de réorganisations et de minéralisations successives, qui confère aux sols riches en matière organique une grande inertie [6]. Les risques de fuite d'azote, très faibles dans un écosystème non cultivé en raison de l'occupation perma-

nente du sol par des végétaux, deviennent importants dans des parcelles agricoles, qui sont souvent dénudées pendant une partie de l'année, surtout si elles sont fertilisées afin d'atteindre les rendements potentiels maximaux. Le rapport Hénin, en 1980 [7], établit définitivement la responsabilité des pratiques de fertilisation dans la pollution tant des eaux de surface que des nappes phréatiques profondes. La mise en évidence d'autres pollutions, par le phosphore et les pesticides, n'a pas tardé à venir. Le transport de nutriments vers les écosystèmes aquatiques (cours d'eau, lacs, littoraux) provoque une croissance incontrôlée de certains végétaux aquatiques, notamment la prolifération de cyanobactéries, qui entraîne le phénomène d'eutrophisation (aboutissant à l'asphyxie des écosystèmes aquatiques, en raison d'une réduction de la teneur en oxygène de l'eau). Enfin, les effets des modes de culture intensifs en intrants sur la biodiversité (tant sur les populations que sur les habitats) ont fini par être reconnus.

Mais, au-delà de ces effets sur les écosystèmes locaux, la fertilisation azotée des champs cultivés influe aussi sur la qualité de l'enveloppe gazeuse de notre planète : c'est l'émission de protoxyde d'azote ( $N_2O$ ) qui en est responsable. Dès les années 1970, la fixation de l'azote ( $N_2$ ) atmosphérique, principalement due à la fabrication d'engrais azotés, a dépassé les capacités de l'ensemble des écosystèmes de la planète à dénitrifier suffisamment pour pouvoir réémettre dans l'atmosphère la même quantité d'azote que

celle qui était ainsi fixée [8]. Cela a pour conséquence une accumulation d'azote sous des formes actives dans les écosystèmes continentaux et marins et une augmentation des émissions de protoxyde d'azote ( $N_2O$ ). Ainsi, depuis le début de l'ère industrielle (1750), l'émission de  $N_2O$  dans l'atmosphère a augmenté de 14 % (9), en très grande partie à cause de la fabrication d'engrais azotés par le procédé Haber-Bosch (10). A l'échelle de la planète, ce sont les systèmes de culture des pays développés du Nord, gros consommateurs d'engrais azotés, qui émettent les plus grandes quantités de ce gaz à effet de serre [9].

On ne doit donc plus viser les rendements potentiels maximaux, correspondant au rayonnement solaire global sur la durée d'un cycle de culture et au régime pluviométrique probable. Des méthodes de calcul existent qui permettent d'estimer, par tâtonnements, des objectifs de rendement qui répondent à des objectifs de production et de réduction des émissions de GES (ACV, EPI, voir plus haut). Mais ce sont les références en matière de cycles biogéochimiques qui font particulièrement défaut, alors qu'il en faudrait beaucoup pour tenir compte de la variété des sols, des climats, des espèces cultivées [10]. Les émissions directes, celles qui se produisent en plein champ, parce qu'elles sont très sensibles aux conditions de culture, exigent encore de gros efforts de recherche de références, pour améliorer les modèles de flux. Même s'il reste difficile de calculer précisément des rendements objectifs conciliant production élevée et réduction des émissions de GES, il est certain que ces rendements seront nettement inférieurs aux potentiels éco-physiologiques. Il est clair aussi que l'on obtient une meilleure efficacité d'une quantité donnée d'un engrais azoté, qui comporte potentiellement un risque d'émission de  $N_2O$ , en la distribuant dans l'espace plutôt qu'en la concentrant en un lieu restreint, car l'efficacité productive de l'engrais décroît quand la dose épandue augmente.

Reste que, dans la pratique, il faut tenir compte d'un autre élément : l'aléa climatique. Il n'est pas possible, en effet, de savoir, au moment des épandages d'engrais, quel

sera le rendement final. Aussi, tant que le surcoût d'une fumure excessive sera faible au regard de la perte environnementale imputable à une fumure insuffisante, l'agriculteur, par une stratégie d'assurance aura tendance à viser des rendements élevés. Le prix des engrais azotés est un facteur important de la régulation des GES. Parce qu'il va modifier les potentiels de rendement (et, si l'on en croit les modèles climatiques actuels, la variabilité interannuelle du climat), le changement climatique rendra plus délicat encore la gestion de la fertilisation azotée et, partant, la régulation des GES.

### Équilibrons mieux, par région, rendements des cultures et bilans de GES

Dans les limites de la problématique que nous nous sommes fixée (augmenter la production de biomasse, tout en réduisant au mieux les émissions de GES), nous pouvons maintenant poser les principes suivants : a) il faut, autant que possible, conserver les forêts et les couverts végétaux permanents existants (voire les accroître), et les gérer de sorte à ce qu'ils jouent pleinement leur rôle de puits de carbone ; b) il faut utiliser de la façon la plus efficace possible la quantité d'azote puisée dans l'air et, pour ce faire, il faut la répartir, plutôt que la concentrer, ce qui permettra *grosso modo* d'augmenter la production de biomasse pour des risques d'émissions de  $N_2O$  équivalents. Reste maintenant à imaginer des principes de répartition. La réponse appropriée nous semble être : là où c'est, à la fois, le plus efficace et le plus nécessaire [11].

L'efficacité maximale se situe dans les régions où les rendements sont encore très faibles, en raison des aptitudes culturelles des terrains. Le tableau 1, qui donne les rendements en céréales et leur évolution récente par grande région, à l'échelle mondiale, ne tient pas compte de ces potentialités. Il est cependant possible de constater que même dans les régions les plus productives, les rendements sont éloignés des limites éco-physiologiques données plus

Régions	1970	2003	coeff. multiplicateur
Union européenne à 15	2,8	5,2	1,8
PECO	2,1	2,8	1,3
Union européenne à 27	2,6	4,3	1,6
Amérique du Nord	3	5,2	1,7
Asie, Sud, Est, Sud-Est	1,7	3,4	2
Amérique centrale, Sud, Caraïbes	1,5	3,2	2,1
<b>MONDE</b>	<b>1,8</b>	<b>3,1</b>	<b>1,7</b>
Afrique du Nord, Moyen Orient	1,1	2,4	2,2
Océanie	1,3	2,1	1,6
Communauté des Etats indépendants*	?	1,7	
Afrique sub-Saharienne	0,8	1,1	1,4
<i>Sources : FAO, Eurostat, Nahid Movahadi</i>			
* ex-URSS moins les Etats baltes			

Tableau 1. Rendements céréaliers (t/ha).



© Christophe Courteau/BIOSPHOTO

« En définitive, l'efficacité et la nécessité incitent à affirmer que c'est en Afrique sub-saharienne qu'il est le plus urgent de concentrer les efforts en matière de production agricole. » Un cultivateur et sa récolte de mil dans le Sahel, au Niger.

haut. Ils masquent une hétérogénéité qui signifie qu'un progrès du rendement moyen est possible, sans augmenter pour cela les rendements maximaux. Mais le plus frappant, c'est la faiblesse des rendements des pays de la Communauté des États Indépendants (11) et de l'Afrique sub-saharienne, où il existe des marges de progrès possible très importantes (voir le tableau 1 de la page précédente).

La nécessité d'accroître les rendements est dictée par les besoins alimentaires des populations. Or, en régionalisant l'estimation des besoins alimentaires, Collomb [1] calcule qu'entre 2000 et 2050, l'Afrique devrait plus que quintupler sa production, l'Asie plus que la doubler et l'Amérique latine presque la doubler, tandis que les pays industriels sont censés ne pas avoir à l'accroître : en définitive, l'efficacité et la nécessité incitent à affirmer que c'est en Afrique sub-saharienne qu'il est le plus urgent de concentrer les efforts en matière de production agricole.

Or, tant les organismes internationaux que les États africains ont, dans les dernières décennies, délaissé les politiques agricoles. Par contre, pour compenser les fortes émissions de GES des pays industrialisés du Nord, le rôle de puits de carbone (et de réserves de biodiversité) que jouent les forêts tropicales humides intéresse de plus en plus la communauté internationale. Les propositions de « déforestation évitée », discutées à Bali en décembre 2007, pour mettre en œuvre l'après-Tokyo, en sont la preuve. Outre qu'elles sont d'une application délicate et qu'elles risquent de générer des mécanismes de réductions fictives [12], elles séparent

totale la question environnementale de la question alimentaire, et elles font fi des besoins non satisfaits des populations locales. Une politique d'intensification des cultures en Afrique sub-saharienne présenterait le double intérêt d'éviter les déforestations et de mieux nourrir les hommes. Bien sûr, il ne faut pas occulter les difficultés structurelles que cette région a connues dans la mise en œuvre de la « révolution verte » [16]. Mais il faut prendre conscience du fait que, dans l'intérêt de tous, il convient d'éviter que ne se perpétue la situation actuelle, où l'on cherche à compenser, sur une partie de la planète, la consommation abusive faite par une autre partie de ladite planète d'une ressource (l'azote prélevé dans l'air), dont on doit modérer l'usage afin de limiter les émissions de  $N_2O$ .

Un meilleur équilibre régional des échanges gazeux entre l'ensemble agro-sylvo-pastoral et l'atmosphère doit donc être recherché, dans le cadre des politiques globales de gestion de la planète.

**Remerciements** : Je remercie Nahid Movahedi pour avoir traité les données statistiques que j'ai utilisées ici.

### Notes

\* Académie d'Agriculture de France.

(1) L'hypothèse retenue consiste à admettre que les pays développés ne reconsidéreront pas leur régime alimentaire et que tous les pays en voie

de développement, qui ne sont pas actuellement au niveau du régime alimentaire du Mexique en 1990, atteindront ce niveau d'ici 2050.

(2) Voir l'article de MM. Paul-Henri Bourrelier et Jean Dunglas dans ce même numéro de Responsabilité et Environnement.

(3) Ce gaz a un potentiel de réchauffement, calculé sur 20 ans, 275 fois supérieur à celui du CO<sub>2</sub>.

(4) Elle a été largement vulgarisée par Liebig, à partir de 1840.

(5) Des villes, également, de par l'arrêt de l'utilisation des déchets ménagers comme éléments fertilisants.

(6) Sur l'ensemble de la planète, c'est 13 millions d'hectares qui sont ainsi défrichés annuellement, essentiellement dans les régions tropicales (FAO, 2006. Évaluation des ressources forestières mondiales).

(7) Il s'agit d'une évaluation de l'ensemble des impacts environnementaux d'un procédé de production d'un bien ou d'un service, qui implique l'étude des processus mis en jeu « du berceau jusqu'à la tombe ».

(8) Ce même Institut note un plafonnement général des rendements du blé en France depuis le début des années 1990 ; il l'attribue au changement climatique.

(9) D'après le GIEC, 2001, cité par [2]. Pendant la même période, le CO<sub>2</sub> a augmenté de 30 %. Le rapport entre les teneurs de N<sub>2</sub>O et de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère est d'environ de 1/1000.

(10) Relativisons, cependant, le rôle que joue chacun des GES : depuis le début de l'ère industrielle, la part du N<sub>2</sub>O dans le forçage radiatif global est de 0,15 W/m<sup>2</sup>, contre 0,48 W/m<sup>2</sup> pour le méthane (CH<sub>4</sub>) et 1,46 W/m<sup>2</sup> pour le CO<sub>2</sub> [2].

## Bibliographie

[1] (P.) COLLOMB, *Une voie étroite pour la sécurité alimentaire d'ici à 2050*. Paris, Economica, FAO, 1999.

[2]. (J.-L.) DUPOUEY, (D.) ARROUAYS, (J.) BALESSENT, (B.) GABRIELLE, (G.) GOSSE, (G.) PIGNARD, (B.) SEGUIN et (J.-F.) SOUSSANA, 2006. *Rôle de l'agriculture et des forêts dans l'effet de serre*. in P. Colonna. La chimie verte. Lavoisier, Paris, 532 p, 2006.

[3] (H. D.) EVA, (A.) BRINK et (D.) SIMONETTI, *Monitoring Land Cover dynamics in Sub-sahara Africa*, cité par (A.) RIEDACKER, *Un peu plus d'énergie fossile pour la sécurité alimentaire, le climat et la biodiversité*, Liaison Energie-Francophonie, n° 80, 56-61. 2008.

[4] (A.) RIEDACKER. *Reconsidering Approaches for land Use to Mitigate Climate Change and to Promote Sustainable development*. In *Global Warming and Climate Change*, 387-424, Science Publisher inc. Enfield, New Hampshire, USA, 2008.

[5] (J.) CHRETIEN, (J.) CONCARET et (C.) MERE., 1974. *Evolution des teneurs en nitrates dans les eaux d'alimentation (Département de l'Yonne)*. Ann. Agron. 25 : 499-513, 1974.

[6] (A.) MARIOTTI. *Quelques réflexions sur le cycle biogéochimique de l'azote dans les agro-systèmes*. In (G.) LEMAIRE et (B.) NICOLARDOT. *Maîtrise de l'azote dans les agro-systèmes*, Inra éditions, 1996.

[7] (S.) HENIN. Rapport du groupe de travail : Activités agricoles et qualité des eaux, Paris, ministère de l'Agriculture et ministère de l'Environnement (document ronéoté), 1980.

[8] (J. N.) GALLOWAY et (E. B.) COWLING, *Reactive nitrogen and the World: 200 Years of Change*. *Ambio*, 31, 64-71, 2002.

[9] (J.) GALLOWAY, (F.J.) DENTENER, (D.G.) CAPONE, (E.W.) BOYE, (R.W.) HOWARTH, (S.P.) SEITZINGER, (G.P.) ASER, (C.) CLEVELAND, (P.) GREEN, (E.) HOLLAND, (D.M.) KARL, (A.F.) MICHAELS, (J.H.) PORTER, (A.) TOWNSEND et (C.) VOROSMARTY. *Nitrogen cycles: past, present and futur Biochemistry* 70. 153-156. 2004.

[10] (K. G.) CASSMAN, (A.) DOBERMANN, (D. T.) WALTERS et (H.) YANG. *Meeting Cereal Demand While Protecting Natural Resources and Improving Environmental Quality*. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 28: 315-358, 2003.

[11] (F.) PAPY, *Augmenter les rendements ? Oui, mais où et comment ?* Séance de l'Académie d'Agriculture du 4/02/09. C. R. Acad. Agric. France, Vol 95, n°1, 61-63 et sur le site (<http://academie-agriculture.fr/seances/2009>) 2009.

[12] (A.) KARSENTY et (R.) PIRARD. *Changement climatique : faut-il récompenser la « déforestation évitée » ?* *Natures, Sciences, Sociétés*, 15, 357-369. 2007.

[13] (M.) GRIFFON. *Nourrir la planète*. 456 p. Odile Jacob, Paris, 2006.

## Penser et aménager les agglomérations urbaines : quelques exemples de métropoles européennes

La population européenne se concentre à plus de 70 % dans un environnement urbain et 80 % des Français vivent en ville. La croissance urbaine est une tendance générale, et certains événements naturels majeurs intervenus ces dernières années ont mis en évidence l'ampleur des effets pouvant affecter les métropoles : les tempêtes de décembre 1999 qui balayèrent les pays de l'Europe de l'Ouest, les inondations exceptionnelles en Europe centrale durant l'été 2002, ou encore la canicule de l'été 2003. Hors d'Europe, d'autres événements ont marqué récemment les esprits : le tsunami en Asie, en décembre 2004, le cyclone Katrina dévastant la Nouvelle-Orléans, en août 2005...

par Brigitte MAZIÈRE\*

Si le lien entre ces événements, quelles qu'en soient les causes, et les modifications du climat ne peut être établi avec certitude, il est vraisemblable que leur fréquence et leur intensité s'amplifient, et que leurs effets sont aggravés du fait du réchauffement climatique. Pour le seul continent européen, on observe une augmentation des tempêtes, des inondations, des sécheresses et des incendies de forêts. Les secteurs les plus densément peuplés et les plus artificialisés, connaissent les principales menaces technologiques et urbanistiques, mais *ce sont surtout les impacts sur les populations qui augmentent, avec des effets immédiats, indirects ou différés.*

Quand des crises touchent de vastes territoires urbanisés, elles peuvent y avoir des conséquences particulièrement graves. Lieux de fortes concentrations humaines, d'activités économiques, d'infrastructures importantes, d'équipements et de services, les métropoles constituent des entités de plus en plus complexes, à l'image de vastes écosystèmes, entretenant de multiples relations avec d'autres territoires. La sophistication et le développement technologique les rendent *très dépendantes des réseaux* d'énergie, de transports et de télécommunications, de ressources, etc. Leur dimension et leur fonctionnement en font des *territoires stratégiques, sièges de vulnérabilités multiples* susceptibles de les fragiliser. La structure urbaine peut être mise en péril dans ses fonctions vitales mêmes : défaillance des réseaux, affaiblissement de la capacité de réponse des équipements de secours, perturbation des services publics, difficulté pour informer la population, notamment. Les phénomènes catastrophiques touchant les métropoles peuvent entraîner des *effets en chaînes* : des inondations provoquant des mouvements de terrain, des pollutions..., avec des conséquences sociales, sanitaires, économiques ou patrimoniales demandant réparation sur une longue durée. Les dysfonctionne-

ments et les dégâts peuvent également dépasser largement le périmètre de l'aire métropolitaine, jusqu'à *affecter d'autres espaces, plus ou moins distants*, urbanisés ou non. Ces effets *induits ou différés* dans le temps et l'espace prennent une importance accrue, jusqu'ici mal ou non évaluée. Ils peuvent être négligeables pour des événements de faible intensité, mais ils augmentent de manière exponentielle lors de crises graves et ils concernent des domaines dont l'évaluation ne saurait se limiter au seul aspect financier. Ce qui menace les métropoles, plus que d'autres espaces peu (ou moins) denses, concerne *l'éventualité de crises systémiques*, du fait de la concentration urbaine, alors que l'accroissement démographique contient en germe l'éventualité que se voient compromis les grands équilibres indispensables à la sécurité et à la qualité de vie. Si les *liens entre usages des sols et évolution des vulnérabilités* paraissent de plus en plus évidents et confirmés par les retours d'expérience, les conséquences en sont insuffisamment tirées dans la définition des politiques d'aménagement territorial. Les exigences de développement durable et les perspectives de modifications climatiques renforcent la nécessité d'engager des démarches d'adaptation, afin de repenser l'organisation et la gestion des villes de demain, grâce à de nouveaux concepts.

Quelques métropoles (1) ont engagé des démarches prospectives afin de mieux comprendre les évolutions prévisibles, d'en évaluer les effets, d'identifier les actions préventives ou correctrices à déployer et de les analyser en termes de conséquences sur le fonctionnement urbain. Cependant, ces métropoles éprouvent certaines difficultés à mener des démarches prospectives et adaptatives en vue d'élaborer des stratégies urbaines globales, c'est-à-dire intégrant l'ensemble des paramètres, dont l'éventualité d'événements catastrophiques. La difficulté qu'il y a à rele-

ver autant de défis à la fois, et en particulier celui de l'adaptation au changement climatique, pose aux métropoles de nouvelles questions (ou les reposerait différemment), les principales d'entre elles étant :

- ✓ la capacité d'intégrer de nouvelles échelles dans les actes d'aménagement : le long terme et le grand territoire, l'incertitude et l'anticipation, alors qu'il faut aussi satisfaire des besoins à court terme ou réparer des dommages dans l'urgence ;
- ✓ la réduction des vulnérabilités, tant des personnes que des biens, et l'aptitude à retrouver le « bon état » après les événements, et donc la capacité de résilience collective et individuelle ;
- ✓ l'aménagement spatial et les pratiques de consommation d'espace et de ressources, qui ne peuvent se poursuivre sans infléchir ou reconsidérer les modes de développement urbain face aux menaces qui pèsent sur les grandes agglomérations ;
- ✓ la gouvernance urbaine et sa capacité à concevoir et gérer de vastes cités, qui soient à la fois plus sûres et plus économes.

Lors du colloque co-organisé par le MEEDDAT et l'AFPCN en novembre 2008 sur le thème « Des catastrophes du passé au défi du changement climatique en Europe », un atelier a été consacré aux territoires des métropoles. Certaines d'entre elles ont exposé les actions qu'elles ont conduites à la suite de crises graves survenues sur leurs territoires, ainsi que les démarches d'intégration des risques et d'adaptation prises en compte dans leur stratégie de développement urbain. Ces exemples s'inscrivent dans la dynamique proposée par la récente « Charte de Leipzig sur la ville européenne durable » (2) du 24 mai 2007, qui souligne l'importance de la gouvernance urbaine et à laquelle devrait s'adjoindre, désormais, la question de la sécurité des personnes et des biens.

A partir des expériences de Prague, de Hambourg, du Grand Londres et du Grand Lyon, toutes des métropoles concernées par le risque d'inondation, nous examinerons si des points communs, des enseignements ou des points de repère peuvent être retenus, et si l'adaptation est vécue comme une contrainte supplémentaire ou si elle est perçue, au contraire, comme un facteur de stimulation à infléchir ou repenser les politiques urbaines.

### Les démarches de quelques métropoles européennes (3)

#### *La ville métropolitaine de Prague*

Capitale et plus grande ville de la République tchèque, avec ses 1,2 million d'habitants, traversée par la Vltava, Prague se situe en plein cœur de l'Europe centrale. La qualité architecturale et urbaine de son centre historique lui a valu d'être inscrite à l'inventaire du patrimoine mondial de l'UNESCO. En août 2002, la ville a connu les inondations les plus importantes depuis 500 ans, la rivière Vltava (Moldau) ayant atteint un débit trente-cinq fois plus important qu'en

temps normal. Les prévisions météorologiques, confirmées deux jours seulement avant la crue, ont été mal comprises. Cette conjonction d'événements a eu des conséquences tragiques, qui auraient pu être en partie évitées.

La ville fût intégralement inondée, avec un niveau d'eau atteignant 3 mètres dans certains quartiers. Les sources d'énergie furent coupées. En conséquence, bien que l'infrastructure ferroviaire fût peu endommagée, les transports en commun ne fonctionnaient plus. La majorité des stations de métro fut totalement submergée, et dix ponts, sur les douze que compte la ville, demeurèrent inaccessibles. Les égouts furent également très atteints et les bateaux envahirent la ville. Le parc zoologique ne put être évacué que tardivement, et quelques animaux rescapés ont marqué la mémoire collective, en particulier le phoque Gaston : un monument à sa mémoire a d'ailleurs été érigé dans le parc zoologique.

*Les dégâts se sont avérés très importants.* Nombre d'immeubles effondrés, ou gravement endommagés, ont nécessité le recours à des logements provisoires. Des équipements publics détruits ou inutilisables, de longues perturbations dans le fonctionnement des transports en commun, des atteintes aux stations de traitement des eaux entraînant la privation d'eau potable durant plusieurs semaines, désorganisèrent la vie des habitants et l'économie de la ville. Par ailleurs, l'évacuation des déchets générés par cette catastrophe et le traitement des diverses pollutions engendrées s'avèrent extrêmement longs et difficiles. L'atteinte à des éléments du patrimoine collectif, notamment des sites de stockage d'archives, a nécessité des actions de sauvetage durant plus de six ans. L'ampleur des dommages a conduit la ville à engager une démarche pour tirer des enseignements de cette crise et entreprendre de profondes modifications dans ses actions de prévention et de gestion urbaine.

*Les démarches entreprises après cette crue exceptionnelle s'attachèrent d'abord à comprendre comment une crue de grande ampleur avait pu causer autant de dégâts.* Les analyses conduites portèrent autant sur *les causes* : systèmes de prévention, d'alerte, de gestion de crise... que sur *l'ensemble des conséquences*. Elles mirent principalement en évidence, outre les coûts élevés des réparations et reconstructions nécessaires, *l'importance et la diversité des dégâts mal (ou non) identifiés*. Qu'ils soient sociaux, patrimoniaux, environnementaux, économiques ou fonctionnels, nombre de ces dommages eurent des conséquences aux *effets différés à des échelles de temps et d'espace très variables*, ces effets allant au-delà du territoire de la ville de Prague et demandant un long délai de remise en état. Certains dommages ont même causé des pertes irréversibles, comme la destruction de certains éléments du patrimoine collectif ou symbolique. Ainsi, les actions de restauration ne permirent pas de sauver certains documents historiques d'une valeur inestimable et la perte des animaux du zoo se révéla, après la crise, constituer un élément symbolique fort d'une vulnérabilité mal évaluée. La reconstruction de nombreux bâtiments d'habitation et le relogement de leurs occupants ont entraîné une *modification de la*



© CTK/CAMERA PRESS/GAMMA EYEDEA

« Le parc zoologique [de Prague] ne put être évacué que tardivement, et quelques animaux rescapés ont marqué la mémoire collective [...] » Evacuation, à l'aide d'une grue, d'un rhinocéros du zoo de Prague, lors des inondations de 2002.

structure sociale de certains quartiers. Le temps de la remise en état de nombreux équipements publics, ainsi que la modification prolongée de certaines pratiques urbaines due au dysfonctionnement des transports publics, eurent des incidences notables sur la qualité des conditions de vie des habitants. Le dommage le plus important, au niveau du fonctionnement urbain, s'est avéré être celui subi par le réseau métropolitain. Une commission urbaine dédiée à cet équipement a conclu à une insuffisance des systèmes de protection, ainsi qu'à un déficit de maintenance du réseau et des dispositifs techniques, à leur incohérence de conception et de mise en œuvre, ainsi qu'à un manque de réactivité dans l'exécution des directives reçues par les agents durant la crue, conduisant à une excessive improvisation.

Par ailleurs, la mauvaise conception des plans anti-inondations ayant été mise en évidence, une gestion coordonnée des diverses structures hydroélectriques entre les divers niveaux territoriaux a été mise en place, et des améliorations ont été apportées au service de prévision météorologique. La réalisation d'ouvrages de protection a complété le dispositif sur certains territoires distants de la métropole, le long des affluents de la Vltava. Enfin et surtout, la catastrophe a permis une révision de la stratégie urbaine, jusqu'alors centrée sur la ville historique, secteur stratégique et résidentiel, pour l'étendre au-delà de ce périmètre et

implanter, hors des secteurs soumis à des risques, des infrastructures nouvelles.

L'ampleur des dégâts consécutifs aux inondations de 2002 ayant fait émerger de nouveaux enjeux sociaux et patrimoniaux, l'évaluation des vulnérabilités a été élargie. Les dysfonctionnements prolongés des réseaux de transports et d'alimentation en eau ont entraîné de profondes modifications dans leur conception et dans leur gestion, conduisant à redéfinir les responsabilités. Les perturbations prolongées subies par le fonctionnement urbain et ses conséquences sur la qualité de vie des habitants ont été des facteurs déterminants pour la révision de la stratégie d'aménagement de la ville.

En 2006, lors de nouvelles crues, les améliorations structurelles et les profondes modifications de la coordination et de la gestion urbaine ont fait la démonstration de leur efficacité : une nouvelle catastrophe a été évitée, grâce à une conception et à une gestion territoriales plus efficaces.

### La ville-État de Hambourg

Située au nord de l'Allemagne, deuxième ville de ce pays, avec son 1,8 million d'habitants (3,5 millions, en incluant l'ensemble de la métropole), Hambourg regroupe 120 000 entreprises et détient le PIB le plus important du pays, dont

elle constitue le centre de l'activité économique. Tout aléa affectant cette métropole impacte le dynamisme du pays tout entier, ainsi que ses échanges avec toute l'Union européenne. Le tiers de la superficie de cette ville-État est exposé au risque d'inondation : 180 000 habitants y résident et 140 000 emplois y sont implantés.

Février 1962 constitue une date charnière pour Hambourg, en raison de l'ampleur des inondations (consécutives à des tempêtes) qui s'y sont produites. De nombreuses personnes ont péri, des milliers de bâtiments se sont écroulés et plus de 60 000 personnes s'étaient retrouvées sans abri.

*Les enseignements tirés de ces événements* conduisirent la ville à infléchir (ou à redéfinir) l'ensemble de ses dispositifs de prévention et de gestion des crues, sur la base d'analyses critiques portant, à la fois, sur *l'efficacité des ouvrages de protection, sur les rôles des divers niveaux de responsabilité sur l'évaluation de la vulnérabilité, sur les dispositions d'urbanisme et sur la cohérence de l'ensemble, à l'échelle de l'agglomération*. Cette démarche permit de mettre en évidence certains manques et défaillances, les principaux étant :

- ✓ des systèmes d'alerte précoce, de prévention et de protection dénués de cohérence. Depuis lors, ils sont devenus plus performants et ils sont désormais très structurés, grâce à la construction de nouveaux ouvrages, étendus à des territoires plus vastes ;
- ✓ une gestion des ouvrages éparpillée entre diverses associations qui en avaient la charge. Cette gestion, devenue aujourd'hui cohérente et informatisée, relève désormais du gouvernement fédéral ;
- ✓ une connaissance insuffisante des vulnérabilités, notamment sociales. Désormais, c'est le principe « d'égalité de la sécurité » fixé par les autorités publiques qui prime, en s'opposant à tout nivellement par le bas ;
- ✓ des mesures de sensibilisation, de connaissance et d'information du public jugées trop faibles. Aujourd'hui, un programme intégré au dispositif de prévention a été mis en place à l'intention de l'ensemble des acteurs ; il se compose de brochures dispensant conseils et conduites à tenir en cas de catastrophe, avec des indications précises en cas d'urgence : localisation des zones protégées, emplacements sécurisés pour les véhicules, etc.

L'ensemble de ces documents est accessible à tous, *via* Internet. De plus, des exercices de simulation, une journée dédiée à l'information des médias, ainsi que la création de bureaux régionaux du climat destinés à dispenser de l'information auprès du grand public, visent à *accroître l'implication de la société civile*.

Jusqu'en 1962, les digues éventuellement endommagées après des catastrophes étaient réparées ou reconstruites. Aujourd'hui, c'est un programme volontariste de constructions d'ouvrages qui est mis en œuvre. Il s'agit de la troisième génération d'ouvrages de protection, comportant des digues plus hautes, des barrages anti-crues, des écluses, des stations de pompage, des vannes..., qui assurent la diversification, la complémentarité et la cohérence des mesures préventives, sur un territoire plus étendu. Ce vaste pro-

gramme, qui court jusqu'en 2012, est déjà réalisé aujourd'hui à hauteur des deux tiers. Les priorités concernent la politique foncière (afin de libérer de l'espace le plus rapidement possible) et celle de la protection contre les crues. *C'est la préoccupation récente du changement climatique, avec un risque de hausse du niveau de la mer d'environ 30 centimètres, qui a pour partie motivé l'adoption et la configuration de ces constructions.*

Désormais, *le développement de Hambourg s'inscrit dans une vision stratégique globale, « Métropole Hambourg : une ville en croissance »*. Ce document de cadrage général, qui procède d'une synthèse de plusieurs projets, intègre le risque principal encouru par l'agglomération : les inondations. Il définit jusqu'en 2020 les principes généraux, les objectifs et la mise en œuvre de l'expansion urbaine. Il assure une *grande transparence pour la réalisation des divers projets* de développement de la ville, encourageant ainsi la participation de tous les acteurs. *La conscience de l'augmentation de la vulnérabilité d'ici 2050 du fait du développement spatial et économique de la métropole et du changement climatique va grandissant, aussi les réflexions sur la gouvernance intègrent-elles dans le projet de la ville-État l'atténuation des risques et l'aménagement spatial de l'aire urbaine.*

### Le Grand Londres

Le Grand Londres compte 7,3 millions d'habitants, avec un territoire soumis à des risques d'inondation, sur 15 % de sa superficie. Si, en centre-ville, le risque d'être inondé est extrêmement faible, cela n'est pas le cas pour d'autres secteurs de l'aire urbaine. En effet, des infrastructures nécessaires à la continuité des activités de la ville (75 stations de métro), des équipements scolaires, de secours et de commandement (25 % des gendarmeries) ou sanitaires (10 des plus grands hôpitaux de l'agglomération) se situent dans des secteurs inondables, où résident 1,2 million d'habitants. L'implantation de Londres sur la Tamise et à proximité de la mer limite les options de son développement. La ville est menacée par les crues du fleuve et de ses affluents, par le ruissellement urbain et par l'éventuelle montée du niveau de la mer. En cas de pluies abondantes, le risque de débordement rapide de certains affluents de la Tamise se trouve accentué par le bétonnage du lit de certains d'entre eux. L'accroissement attendu de la population, de l'ordre de 800.000 personnes au cours des vingt prochaines années, constitue un facteur d'augmentation de la vulnérabilité, et d'aggravation des inondations dans l'agglomération londonienne.

Parallèlement, la perspective du réchauffement climatique (avec des hivers plus chauds et plus humides et des étés plus secs) a incité la région londonienne à élaborer une *stratégie d'adaptation au changement climatique et d'atténuation des risques à l'échelle de la métropole*. Le document stratégique a également envisagé une crise systémique, avec des effets en chaîne affectant le fonctionnement des réseaux d'infrastructures et les systèmes d'approvisionnement, en particulier en eau et en énergie. Dans ce docu-



© Pitamitz/SIPA

« Depuis la construction de la barrière sur la Tamise (inaugurée en 1983), la vigilance et la culture de prévention s'étant estompées, les actions de sensibilisation ont été renforcées, avec un message clair : en cas de crise, ce sont les plus vulnérables qui seront secourus, le reste de la population devant se prendre en charge. » La barrière sur la Tamise, à Londres.

ment, les risques ont été subdivisés, par nature et par territoire, suivant leur probabilité et selon différents scénarios de changement climatique, l'objectif étant d'identifier les vulnérabilités afin de déterminer les priorités d'action. Afin de localiser et hiérarchiser les éléments les plus fragiles, des indices de facteurs de risque aggravant les vulnérabilités ont été créés afin de savoir aussi précisément que possible *qui sera affecté et de quelle manière*. S'agissant de la population, divers éléments déterminent le degré de vulnérabilité d'un individu : son âge, sa condition physique, sa maîtrise de la langue anglaise. A ces éléments déterminants s'ajoutent certains facteurs sociaux : localisation et type d'habitation, lieu de travail, niveau de ressources, détention d'une assurance, existence d'une famille susceptible d'apporter un soutien, etc. A partir de l'ensemble des facteurs ainsi collectés, *un indice de vulnérabilité individuelle* est établi, conjointement aux agences responsables de l'environnement. *Un report sur carte identifie les immeubles où résident des habitants à évacuer en priorité* après le déclenchement de l'alerte, du fait de fragilités particulièrement fortes tant des bâtiments que des personnes.

La perception du risque par le public, étudiée dès 2000, montre que beaucoup des Londoniens questionnés sur leur conduite en cas d'inondation se réfugieraient dans le métro, ce qui dénote une méconnaissance totale des dangers. Depuis la construction de la barrière sur la Tamise (inaugurée en 1983), la vigilance et la culture de prévention s'étant

estompées, *les actions de sensibilisation ont été renforcées, avec un message clair : en cas de crise, ce sont les plus vulnérables qui seront secourus*, le reste de la population devant se prendre en charge.

Les habitants ne doivent pas compter uniquement sur la puissance publique, mais sur leur capacité d'auto-organisation pour agir, dans l'urgence, face à la crise et assurer leur propre sécurité. Il existe d'ailleurs un système d'alerte performant, développé par l'Agence de l'Environnement, qui prévient la population du niveau de danger et qui veille sur les populations les plus vulnérables.

*Les plans d'action concernent aussi bien la construction de nouveaux ouvrages de protection* (édification d'une barrière supplémentaire contre les débordements de la Tamise et création d'un nouveau barrage) que la *multiplication des champs d'expansion des crues* sur de vastes espaces éloignés de l'aire métropolitaine et la « *revégétalisation* » des rives des cours d'eau, afin d'atténuer l'imperméabilisation excessive des sols. S'y ajoutent des *mesures concernant l'aménagement urbain et la conception des bâtiments* : création d'espaces verts pour compenser les effets dus au changement climatique, tels que les vagues de chaleur et les sécheresses, et emploi de matériaux de construction aptes à renforcer la résistance des habitations. Les mesures en matière de construction visent à encourager la *réalisation de bâtiments économes et résilients pour la totalité de leur durée de vie* et à leur donner une *valeur financière supé-*

rieure à celle des constructions conçues et bâties suivant les critères actuels.

L'organisation de l'extension du Grand Londres s'inscrit dans un document de synthèse, qui définit une « stratégie globale et adaptative pour une métropole plus sûre et durable ». Il met l'accent sur l'importance qu'il y a à définir des seuils critiques, pour les personnes et les biens, dans l'élaboration des dispositions adaptatives et préventives, et sur celle qu'il y a à intégrer la notion de résilience à long terme dans la conception et la gestion urbaines. En effet, si la barrière de la Tamise protège Londres aujourd'hui, il faut se préparer, d'ores et déjà, aux incertitudes de demain.

### Le Grand Lyon

Ancienne capitale des Gaules, la ville de Lyon s'est progressivement agrandie, jusqu'à former une agglomération de 1,3 million d'habitants regroupant près de soixante communes au sein du « Grand Lyon ». Si son territoire représente 16 % de la superficie du département du Rhône, il y concentre 75 % de la population et 80 % de la richesse produite. Située au Nord du couloir naturel que constitue la vallée du Rhône, l'agglomération lyonnaise occupe une position stratégique sur le réseau de circulation Nord-Sud de l'Europe. Historiquement ville industrielle, elle accueille aujourd'hui des activités de haute technologie. Par ailleurs, la qualité de son patrimoine architectural et urbain lui vaut d'être inscrite à l'inventaire du patrimoine mondial de l'UNESCO.

La métropole lyonnaise exerce une attraction d'importance nationale et bénéficie d'un afflux de population constant, depuis une vingtaine d'années. L'agglomération se situe au centre d'un réseau hydrologique complexe, à la confluence de deux fleuves, la Saône et le Rhône. De grandes inondations historiques, en 1840 et en 1856, ont été source de traumatismes pour la ville. Les habitations, très vulnérables, car bâties en terre, s'écroulèrent, provoquant un nombre important de blessés et de morts. La moitié de la ville ayant été détruite, ces catastrophes amenèrent les autorités à mettre en place des dispositifs de protection. Les quais du centre-ville furent progressivement rehaussés à une cote supérieure à celle des crues historiques.

La situation géographique de l'agglomération et sa vulnérabilité expliquent que la culture de prévention des risques soit partie intégrante, depuis longtemps, de la politique urbaine de Lyon. Son expansion a conduit l'agglomération à adopter une vision globale de son système hydraulique, et ce, d'autant plus que la source de son approvisionnement en eau potable se situe en amont, dans un secteur hydrologique complexe constituant une zone d'expansion des crues. Il convient de souligner cette étroite relation entre territoires distants, dans la mesure où des modifications de pratiques d'usage des sols peuvent avoir des impacts sur l'équilibre hydrologique et fonctionnel de la métropole. C'est ainsi que la transformation de 40 000 hectares de prairies en champs de maïs a entraîné la perte d'importantes zones d'expansion des crues. Leur reconquê-

te demeure d'autant plus difficile qu'elle oblige à repenser le type d'agriculture compatible avec les dispositifs de prévention de l'agglomération.

Une nouvelle approche des risques d'inondation a dû être introduite après la loi de 2003 sur les risques majeurs (loi Bachelot), conduisant à revoir les plans de surfaces submersibles sur les bases historiques de référence : celles des inondations de 1840 et de 1955. Le territoire du Grand Lyon a été divisé en secteurs, en fonction de la proximité de la plaine alluviale et des types d'habitat. Sur la base d'études, des zonages réglementaires ont été établis et traduits dans les plans locaux d'urbanisme. Ces zonages distinguent les secteurs suivant leur exposition aux risques et leur niveau de vulnérabilité : certains sont inconstructibles ou constructibles sous la condition du respect de spécifications techniques, et d'autres le sont plus librement, sans que soit aggravée leur vulnérabilité. Les élus refusèrent, dans un premier temps, de prendre en compte de telles crues en raison des aménagements de protection déjà réalisés (notamment, des rehaussements successifs des quais). *Deux années de concertation furent nécessaires pour faire comprendre les enjeux, informer et rassurer...* avant le vote du plan de prévention des risques d'inondation, qui fut adopté, finalement, à l'unanimité des élus. Cette nouvelle « culture du risque » a demandé un grand investissement en matière de communication, pour permettre son appropriation par la population. *C'est le fruit d'un travail collectif de la puissance publique, des services de l'État et des collectivités locales, des techniciens et de certaines associations, qui a permis d'obtenir une acceptabilité du risque.*

Le Grand Lyon a désormais réduit le risque d'inondation par débordement. Mais, son territoire pouvant être soumis à des remontées de la nappe phréatique et à des crues torrentielles, les études se poursuivent. *Les dernières actions de concertation, visant à faire accepter l'inscription des dispositions réglementaires des plans de protection contre les inondations et leurs conséquences dans les documents d'urbanisme s'inscrivent dans la culture de prévention de la Ville, qui a été renforcée et réactivée, dans la perspective d'une adaptation devenue indispensable.* En effet, comme pour le Grand Londres, la population et les élus savent que des catastrophes de grande ampleur peuvent se reproduire, comme le rappellent les laisses de crues historiques, et que la perspective d'un réchauffement climatique en augmente la probabilité.

### Le projet urbain de Séville (4)

L'objectif d'adaptation au changement climatique a conduit l'Agence d'Ecologie urbaine de Barcelone à repenser la conception de certains quartiers et bâtiments, afin de réduire leur consommation de ressources et leurs émissions de gaz à effet de serre. Dans leur conception habituelle, les documents d'urbanisme comportent des plans et règlements normatifs qui ne rendent pas compte, entre autres, des nouvelles technologies de communication, et n'intègrent pas le concept de « durabilité ». Dans le projet étudié pour un quartier de plus de 5 000 habitants, à Séville, le

sous-sol fait partie intégrante de la réflexion pour introduire de nouveaux paramètres. Il est possible, par exemple, d'y installer des accumulateurs d'énergie, qui se chargent en été et diffusent la chaleur ainsi accumulée durant l'hiver. Le solaire constituant une source importante d'énergie en Espagne, son utilisation grâce à des capteurs photovoltaïques, produit la totalité de l'électricité nécessaire aux parties communes du quartier. Il est d'ailleurs proposé à la commune de Séville de prendre des mesures nécessaires, par ordonnance municipale, afin de généraliser cette utilisation du solaire à tous les quartiers de la ville. Pour un bâtiment de cinq étages, le recours à *des sources d'énergie renouvelables* (capteurs thermiques et photovoltaïques, ainsi que mini-centrales alimentées par des résidus d'olives, abondantes en Andalousie) *permet la satisfaction des besoins* de chauffage, d'eau chaude, d'éclairage et de climatisation. Pour des bâtiments plus importants, il est proposé que les maîtres d'ouvrage des constructions alimentent une *banque d'énergie collective*, pour fournir le supplément d'énergie nécessaire. Dans le domaine de l'eau, la réflexion porte également sur *l'autosuffisance des bâtiments*. Le projet étudié assure l'alimentation en eau des habitations et des espaces publics, grâce à un captage local. Cette eau ne provient donc pas d'un réseau de distribution. Par ailleurs, le projet prévoit que le quart (au moins) de l'eau utilisée pour les usages domestiques et les espaces publics ne soit pas de l'eau potable, mais provienne de la récupération d'eau de pluie ou ait été recyclée. Bien adaptée aux caractéristiques climatiques de l'Andalousie, la réalisation de tels projets n'est sans doute pas reproductible sous d'autres climats. Mais cet exemple prouve que l'objectif d'adaptation permet des modifications profondes, dès lors qu'elles ont été étudiées *dès leur conception de façon à réaliser des quartiers à haute valeur environnementale, ce que les démarches d'urbanisme et les modes constructifs habituels n'autorisent qu'à la marge.*

### **Perspectives d'avenir, en matière d'intégration de l'adaptation au changement climatique dans les stratégies urbaines**

Bien que toutes soumises au risque d'inondation et bien qu'ayant subi des événements catastrophiques, ces métropoles européennes montrent qu'il ne saurait être tiré d'enseignements valant pour toutes, du fait de la diversité de leurs caractéristiques. Leur histoire, leur géographie, leur culture, leur démographie et leur économie sont, en effet, différentes. Si la perspective du réchauffement climatique ne fonde pas toutes leurs démarches, elle est perçue comme un facteur d'aggravation des risques et donc, comme un motif supplémentaire d'appréhender de manière différente leurs politiques de prévention et de réduction de leurs vulnérabilités. Cela les entraîne, parmi d'autres conséquences, à repenser leur évolution urbaine. Certaines métropoles se sont récemment engagées dans des démarches prospectives, globales et adaptatives. Quelle que soit la diversité des mesures adoptées, avec des degrés de mise en œuvre variables, les exemples précédents (ainsi que ceux d'autres

grandes agglomérations européennes) soulignent l'importance des thèmes suivants :

- **La mise en cohérence à l'échelle de l'agglomération :**
  - ✓ *des dispositifs de protection et de leur gestion* : qu'il s'agisse de la réalisation d'ouvrages ou de leur amélioration, de la mise en sécurité des réseaux d'énergie, de communication, de transports ou des sources d'approvisionnement, tous ces exemples montrent qu'il est indispensable d'assurer leur cohérence sur l'ensemble des territoires susceptibles de subir des dégradations ou des dysfonctionnements, que ceux-ci soient directs ou différés. L'amélioration de leur gestion coordonnée requiert l'identification des divers intervenants, souvent nombreux, et celle des responsabilités, souvent émiétées. Cela conduit à clarifier (ou parfois à redéfinir) *la chaîne des responsabilités aux divers niveaux territoriaux* et à désigner l'instance (ou les instances) en charge d'assurer la coordination à l'échelle de l'agglomération ;
  - ✓ *des mesures d'information, de communication et d'implication de tous les acteurs* : lors d'événements exceptionnels, le rôle joué par les comportements individuels et collectifs a été mis en évidence, en particulier celui du lien existant entre la capacité de résilience des populations et la réduction des dommages. Ce constat milite en faveur du renforcement des actions de sensibilisation en direction de l'ensemble des acteurs (déjà identifiés ou non) sur la totalité du territoire de la métropole et de ceux qui sont en interrelation avec elle, afin d'accroître la connaissance et l'appropriation collectives des enjeux ;
  - ✓ *des risques combinés et de leurs effets induits* : les métropoles, plus que d'autres territoires, peuvent y être soumises. La crainte d'une crise systémique, la nouvelle donne du changement climatique et la nécessité d'anticiper afin de se prémunir de désordres coûteux constituent autant de motifs cumulés pour engager des programmes de recherche, sur un thème qui souffre d'un déficit de connaissances.

#### **- La réduction des vulnérabilités**

Les exemples précédents montrent que les villes ne perçoivent pas toutes de la même manière leurs vulnérabilités, ce qui se traduit, d'ailleurs, dans la diversité de leurs choix de leviers d'action. Si ce constat confirme que, pour une culture donnée, les mêmes dommages sont plus ou moins supportables, il indique le besoin commun de *disposer de connaissances approfondies de leurs fragilités*, en particulier de celles de leur tissu social, des systèmes techniques et organisationnels et de leur réaction en cas de situation dégradée. Comme on l'a vu, ce sont souvent les crises qui ont révélé l'existence de *vulnérabilités minorées ou non identifiées*, ainsi que *l'importance et l'ampleur grandissantes des conséquences sociales, avec une forte disparité dans les vulnérabilités, entre habitants d'une même agglomération*. Cet aspect pose en des termes nouveaux la question de la *solidarité*, laquelle renvoie *aux obligations et au rôle de la puissance publique* pour assurer la sécurité de tous

face aux dangers. Suivant la diversité de leurs situations, les métropoles auront à apporter des réponses à ces questions en évaluant si leurs mesures de réduction des vulnérabilités et d'adaptation parviendront (ou non) à s'opérer avec *équité*, c'est-à-dire en accordant plus d'attention et d'actions de prévention et de protection aux plus fragiles, et non à ceux qui ont les moyens – sinon le désir – d'organiser eux-mêmes leur propre protection. A cet égard, l'exemple du Grand Londres doit être médité.

#### - Les liens indissociables entre prévention, adaptation et aménagement des territoires

Si ces liens sont de plus en plus communément admis, leurs conséquences n'en sont encore que peu traduites dans les dispositions de planification urbaine. Alors que les perspectives de changement climatique laissent une grande incertitude quant à la nature exacte de ses manifestations, l'adaptation à ce changement demande *dès à présent*, des démarches d'aménagement territorial *à long terme*.

- **Le cumul de mesures indispensables**, telles que la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, les actions en faveur d'une ville plus économe, grâce à des bâtiments autosuffisants et à des quartiers à haute valeur environnementale, le développement de modes de déplacements alternatifs, la mise en place de plans climat ou l'établissement de servitudes, etc. *ne sera pas suffisant sans des dispositions en matière d'urbanisme*. De la même manière, *la conduite de politiques sectorielles et l'addition d'aménagements locaux*, déclinés dans les documents d'urbanisme communaux et intercommunaux, *ne peuvent pas produire leur plein effet*, à l'échelle d'une métropole, pour répondre aux objectifs globaux d'adaptation. Pour concevoir les villes de demain, disposant de qualités urbaines et de vie satisfaisantes, certaines formes et pratiques actuelles de développement devront être infléchies, voire profondément remaniées. Il s'agit principalement de *limiter l'étalement urbain*, consommateur d'espace et de ressources, générateur de déplacements et de transports supplémentaires. Inverser cette tendance demande des politiques publiques dynamiques et novatrices qui densifient les secteurs les mieux desservis par les transports en commun. L'extension tendancielle de l'urbanisation et les dispositions des documents de planification conduisent rarement à cette densification, pourtant souhaitable. La question de l'obligation, réglementaire, de *faire* se posera dès lors que l'alternative, qui consisterait à *ne rien faire* ou à *laisser faire*, pourrait s'avérer plus dommageable à long terme.

S'il n'existe pas de modèle d'organisation spatiale valant pour tous les territoires, qui soit à même d'en assurer la « durabilité » et « l'adaptabilité » en raison de leurs spécificités, les exemples exposés plus haut montrent que la conduite des politiques et la mise en œuvre des actions adoptées ont nécessité *la définition d'orientations stratégiques et d'éléments de cadrage préalables*, indispensables pour disposer d'une *visibilité suffisante sur la longue durée* et pour

*assurer la cohérence spatiale* à l'échelle de la métropole, voire au-delà.

Pour les métropoles, prévoir et gérer les événements potentiellement dangereux, quelle qu'en soit l'origine, et s'adapter au changement climatique constituent les deux aspects d'un même défi. Désormais, il ne s'agit plus seulement pour elles de mener la lutte contre le réchauffement climatique, mais de *s'y adapter*. Comme cette adaptation couvre une multitude de domaines (habitat, déplacements, activités économiques et sociales, implantation et organisation des services publics, protection de points névralgiques, etc.), elle constitue un puissant levier pour repenser leur développement et elle réactive le recours à *une planification à la fois prospective, globale et territorialisée, assurée par une seule autorité publique exercée à l'échelle de vastes concentrations urbaines*. La configuration de cette autorité sera nécessairement variable, suivant les organisations institutionnelles des pays, leur niveau de déconcentration et la répartition des compétences entre l'État et les collectivités territoriales. Mais c'est à elle qu'il revient d'établir le contenu d'un « document cadre » et d'en faire appliquer les dispositions, en assurant leur cohérence avec les objectifs nationaux et internationaux, en laissant place aux initiatives locales et en faisant appel à une large consultation des populations. Les dispositions de ce « cadre préalable », déclinées aux diverses échelles spatiales dans les documents locaux de planification (PLU et SCOT), constituent des éléments indispensables pour assurer la visibilité et la cohérence des projets et des réalisations des divers maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre (urbanistes, architectes...).

L'exercice de cette responsabilité de gouvernance urbaine constitue *le facteur le plus déterminant* pour parvenir à adapter l'évolution des grandes agglomérations, en opérant le choix et la localisation des grands équipements structurants, et en assurant la préservation des espaces nécessaires au maintien des grands équilibres, aux échelles requises d'espace et de durée.

#### Notes

\* Inspectrice Générale de l'Équipement honoraire.

(1) Le réseau de grandes villes européennes, Euro-Cité, a mis en place un groupe de travail sur la thématique de l'adaptation au changement climatique.

(2) Cette Charte prend acte de la richesse des métropoles européennes, tant dans leurs qualités culturelles et architecturales que dans leur capacité d'intégration sociale et de développement économique. Elle préconise un développement urbain intégré, grâce à la mise en place de structures de gouvernance adaptées, reliées au niveau national.

(3) D'après les exposés du Docteur Stephan KYJOVSKY, représentant de la ville de Prague, du Docteur WEICHELSELGARTNER, chercheur au GKSS en Allemagne pour la ville-État de Hambourg, d'Alex NICKSON, responsable de la stratégie d'adaptation du Grand Londres, et de Michel REPPÉLIN, pour le Grand Lyon.

(4) D'après l'exposé de Salvador RUEDA PALENZUELA, de l'Agence de l'Écologie Urbaine de Barcelone.

## Pour une gestion dynamique du littoral

**Le littoral est un espace qui, plus que jamais, focalise l'attention des acteurs politiques, des gestionnaires et des citoyens. En effet, au niveau mondial, les Nations Unies estiment qu'en 2010, 80 % de la population mondiale vivra dans une bande littorale de 100 km, et 8 des 10 agglomérations les plus importantes sont situées sur le littoral (New York, Tokyo, Bombay...). La France n'échappe pas à cette tendance et l'on constate une croissance annuelle de 3,8 % de la population littorale, alors que cette croissance n'est que de 3,3 % en moyenne sur l'ensemble du territoire...**

par Nicole LENÔTRE\*

Cette croissance entraîne une densité de population extrêmement forte (de 272 habitants/km<sup>2</sup>, en moyenne) sur le littoral, alors qu'elle n'est que de 108 habitants/km<sup>2</sup>, en moyenne, sur le territoire national (source : IFEN 2002). D'après l'INSEE, 3,4 millions d'habitants de plus sont attendus en 2030 dans les départements littoraux. Plus on se rapproche de la mer et plus les territoires artificialisés occupent une part importante. Ainsi, à moins de 250 m de la mer, ils occupent 27 % des terres, contre seulement 6 % entre 5 km et 10 km de la mer (4,8 % de territoire artificialisé au niveau national). La palme revient à la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, avec un taux d'artificialisation atteignant 48 % sur la bande littorale de 500 m de largeur [1].

Le littoral est désormais un espace convoité où se sont développées des activités multiples, voire antagonistes, comme, par exemple :

- ✓ du côté maritime : la pêche, l'aquaculture, le prélèvement de granulats marins ;
- ✓ du côté terrestre, le développement de l'urbanisme et de l'industrie et les problèmes qui en découlent : ouvrages de protection, aménagements, pollution... ;
- ✓ enfin, à l'interface : le tourisme, les activités nautiques, les espaces naturels terrestres et marins.

Le coût des ouvrages de défense contre la mer a été estimé à 3,2 milliards d'euros par an, en Europe [2].

### Les phénomènes littoraux

Le littoral est un espace en constante évolution, soumis à plusieurs influences variables en fonction des différents types de côte (sableuse, rocheuse ou vaseuse) :

- ✓ l'influence continentale : la nature et la structure géologique du littoral déterminent sa résistance à l'érosion, ainsi que les apports sédimentaires des bassins versants amenés par les fleuves à la côte ;
- ✓ l'influence marine : les facteurs hydrodynamiques que sont les variations de la position du niveau d'eau moyen de la mer, ainsi que l'action de la marée et des vagues, qui induisent des courants littoraux ;
- ✓ l'influence atmosphérique : le vent, la pluie et la température ;

✓ enfin, les activités humaines.

### *L'érosion côtière*

Les littoraux (sableux et vaseux) évoluent en permanence, sous la double influence de la terre et de la mer. Ils sont tributaires des apports sédimentaires des bassins versants, que les fleuves amènent jusqu'à la côte. Ainsi, une forte crue aura pour conséquence des apports massifs de sédiments à la côte, alors qu'une tempête en mer provoquera son érosion. Le vent peut représenter jusqu'à 30 % du transport de matériaux sur une plage (par exemple, en Aquitaine). Les plages ont une capacité de résilience naturelle : elles ont tendance à maigrir en période hivernale, au rythme des tempêtes (leur recul pouvant atteindre 10 m au cours d'une seule tempête) et elles se reconstituent durant la période estivale. Les caractéristiques des plages dépendent de leur exposition aux vagues et aux conditions de marée.

Les tendances de leur évolution ne sont pas constantes dans le temps ; elles peuvent même parfois s'inverser. Ainsi, la côte aquitaine montre en moyenne un recul 1 à 3 m/an depuis 1825, avec une augmentation des zones en recul au cours des 40 dernières années. En effet, la moitié du littoral sableux était en recul entre 1825 et 1996, et cette proportion est passée à 70 % pour la période de 1966 à 1996. Sur la totalité de la période d'observation, il y a continuité du recul dans le Médoc (figure 1) et, au contraire, continuité dans l'avancée, dans le nord des Landes. Les changements de tendance (avancée/stabilité/recul) vont, presque partout, dans le sens du recul. Ces changements sont également très variables dans l'espace : ainsi, dans l'Hérault, la plage de l'Espiguet est en accrétion, avec une avancée de la flèche sableuse de 2 à 3 m/an, alors qu'à l'inverse, quelques km plus à l'Ouest, la plage subit une érosion de 1 à 3 m/an.

L'érosion des côtes rocheuses se produit sous l'action conjointe de facteurs terrestres et marins. La houle vient frapper le pied de la falaise, entraînant une action de sappe ; cette action est attestée par une érosion plus forte de la falaise à son pied, entraînant un surplomb de la partie



Figure 1. Un blockhaus, marqueur de l'érosion (Côte aquitaine, Hourtin).

© BRGM

haute. Lorsqu'en pied de falaise, il y a présence d'un cordon de sable ou de galets, ce cordon joue un rôle de protection, en atténuant l'énergie de la houle. Les falaises s'érodent également par le haut, sous l'action de facteurs météorologiques tels que les précipitations et la température. La pluie, qui s'infiltre dans les fractures, modifie ainsi le degré de saturation de la roche, ainsi que ses paramètres hydromécaniques. De rapides variations de températures, dues aux alternances jour-nuit ou gel-dégel, ont des effets qui modifient les caractéristiques mécaniques du massif rocheux. Tous ces phénomènes conduisent à la déstabilisation de la falaise, provoquant des éboulements et des effondrements, dont les volumes globaux et la taille des blocs individuels sont variables. Ainsi, les falaises de craie de Haute Normandie présentent des valeurs de recul de 20 cm à 1 m/an. Ce processus n'est pas continu : il se produit par à-coups, sous la forme d'effondrements pouvant provoquer des reculs importants en un seul événement (7 m. de recul ont ainsi été enregistrés à Criel-sur-Mer, dans le département de la Somme).

L'état des côtes de l'Union Européenne, étudié dans le cadre du projet EuroErosion [2], montre que 20 % des côtes sont en érosion, pour toute l'Union, ce qui représente au total 15 km<sup>2</sup> de territoires littoraux perdus chaque année. Pour la France (données comportant l'hexagone et la Corse), l'érosion touche plus de 27 % des côtes. Elle se répartit différemment selon les milieux : 48 % des plages, 18 % des côtes rocheuses et 7 % des littoraux vaseux. Il est à noter, *a contrario*, que plus de la moitié des littoraux vaseux sont en engraissement, ainsi que 12 % des plages. La situation des côtes rocheuses est très contrastée, selon leur nature géologique : l'érosion est quasiment nulle pour les côtes granitiques (comme celles de Bretagne) et très importante, pour les roches tendres, telles que la craie des falaises de

Haute Normandie, qui sont touchées par l'érosion à hauteur des 74 %.

La part du littoral naturel en recul est très variable sur le territoire métropolitain. Elle est faible (inférieure à 10 %) en Corse et en Ile-et-Vilaine. Elle est, en revanche, très forte (supérieure à 70 %) dans le Pas-de-Calais, en Seine Maritime, dans le Calvados et dans le Gard.

#### La submersion marine

Les inondations marines se produisent lors de tempêtes, à cause de phénomènes de surcote, c'est-à-dire d'élévation exceptionnelle du niveau de la mer pendant quelques heures, qui s'explique par une baisse de la pression atmosphérique, par des vents forts et des houles de forte amplitude. Les surcotes ont une hauteur atteignant classiquement de 1 à 3 mètres, mais elles peuvent atteindre plus de 10 m dans des cas exceptionnels (ainsi, la surcote a atteint 10 m sur les côtes de l'Etat du Mississippi, lors du passage du cyclone Katrina, en 2005). L'inondation touche plus particulièrement les côtes basses, que l'on rencontre sur tout le littoral français, telles que la Camargue, le Languedoc, la Vendée, la Baie de Somme ou le Nord....

Ces surcotes engendrent parfois des inondations d'origine marine même dans des zones protégées, par bréchification ou franchissement de cordons dunaires ou d'ouvrages de défense. Ainsi, à Cayeux-sur-Mer, en Baie de Somme, la tempête du 2 février 1990 a ouvert une brèche de 800 m de longueur dans le cordon de galets qui protège la ville : c'est ainsi que 3 000 hectares et une centaine de maisons ont été inondés. Le facteur aggravant en période de surcote est la conjonction de ce phénomène avec une période de grandes marées. Il peut également y avoir aggravation des inondations lorsque se produisent, en même temps, des crues (de

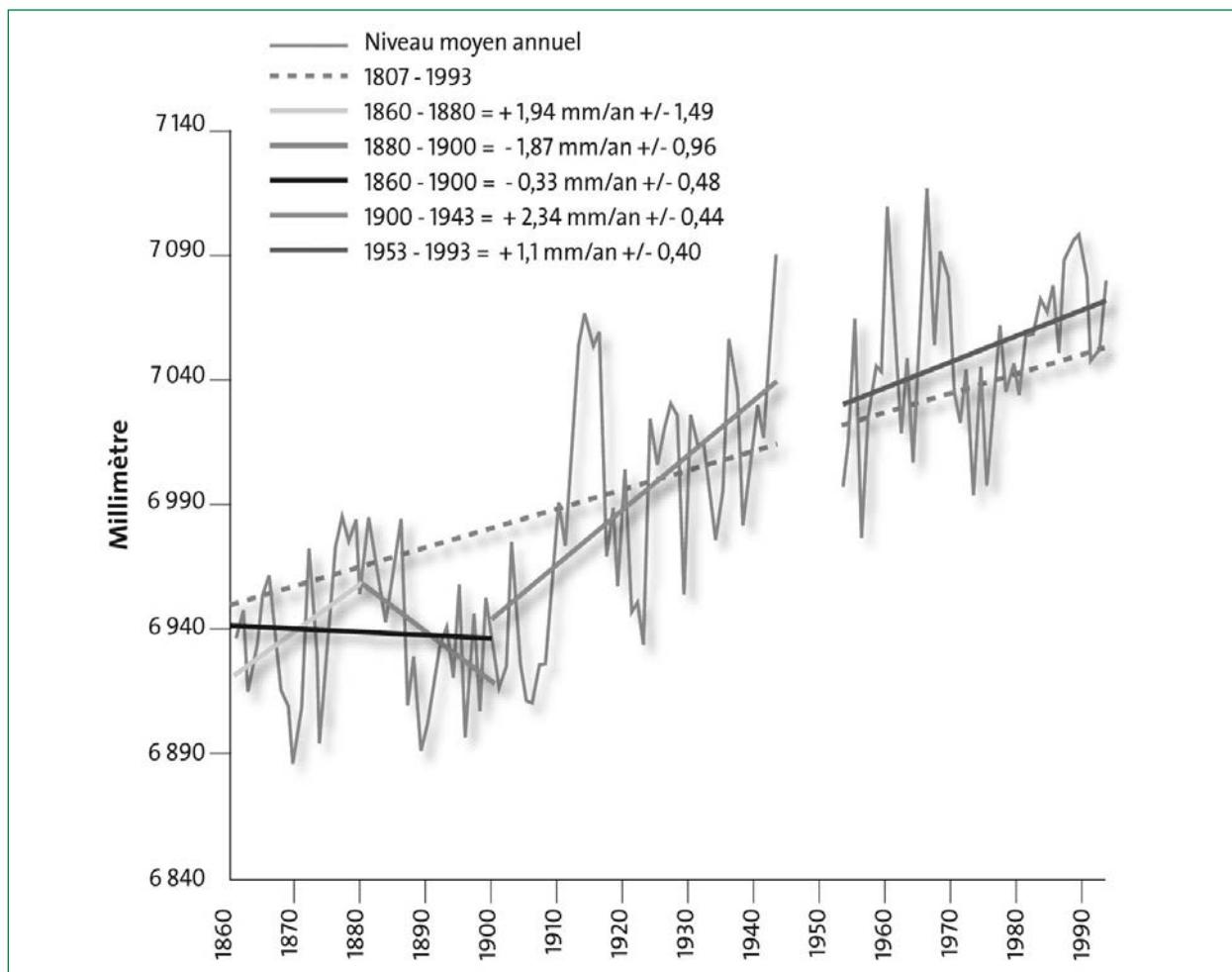


Figure 2. Variation du niveau relatif de la mer au marégraphe de Brest depuis 1860 [3].

type cévenol, par exemple) de cours d'eau et une surcote, provoquée par une tempête en mer : les eaux continentales arrivant à la côte ne peuvent alors pas s'évacuer, du fait de l'élévation du niveau de la mer, augmentant d'autant la superficie inondée.

#### *L'élévation du niveau de la mer due au changement climatique*

Ce processus d'élévation du niveau de la mer est déjà en cours : les relevés marégraphiques ont montré une élévation du niveau de la mer de 15 cm sur toute la durée du vingtième siècle (figure 2).

L'élévation du niveau de la mer due au changement climatique sur les côtes pourra aggraver les phénomènes d'érosion et de submersion et verra l'apparition d'un nouveau phénomène : une submersion marine permanente, due à l'élévation du niveau de la mer. Les travaux du GIEC 2007 (Groupe Intergouvernemental d'Experts du Climat) donnent des valeurs d'élévation du niveau moyen de la mer comprises entre 18 et 59 cm à l'horizon 2100, selon les scénarios d'émission de gaz à effet de serre retenus. Cependant, le GIEC fait remarquer que les valeurs supérieures ne doivent pas être considérées comme des limites maximales, en ce qui concerne le niveau des océans. Depuis lors, plusieurs

publications donnent des chiffres d'élévation du niveau moyen de la mer plus élevés, arguant d'une sous-estimation de la contribution de la fonte des glaces continentales (l'Antarctique et le Groenland se réchauffent actuellement plus vite que les autres régions du globe) : entre 80 et 150 cm à la fin du siècle, avec des valeurs moyennes de 1 m [4,5] ou même 5 m [6]). Cette valeur de 1 m d'élévation du niveau moyen de la mer en 2100 est la valeur retenue par la France dans le cadre du groupe de travail national « Risques Naturels, Assurances et adaptation au Changement Climatique », qui a notamment traité de la question des risques côtiers. Cela permet d'explorer une hypothèse raisonnable d'élévation du niveau de la mer liée au changement climatique à l'horizon 2100, d'autant que cette élévation devrait se poursuivre au-delà du vingt-et-unième siècle. C'est également la valeur de 1 m qui est retenue par d'autres pays (comme l'Allemagne et l'Angleterre) pour leurs plans de gestion de leur littoral.

Les valeurs mentionnées pour l'élévation du niveau de la mer sont des moyennes à l'échelle mondiale. En fait, ces valeurs varient de façon notable au niveau régional, voire au niveau local. En effet, les observations réalisées par satellite altimétrique montrent des variations de vitesse de montée du niveau marin qui ne sont constantes ni dans le temps, ni dans l'espace [7]. De plus, la partie terrestre du lit-

toral a ses propres mouvements verticaux (subsidence ou surrection), qui peuvent aggraver l'impact de l'élévation du niveau de la mer (ou le diminuer).

Les conséquences de l'élévation du niveau de la mer due au changement climatique seront particulièrement importantes pour les côtes basses : leurs ouvrages de défense, ainsi que les cordons dunaires auront une moindre efficacité, et cela entraînera des débordements possibles et des ouvertures de brèches plus fréquentes. Les falaises seront également touchées, car les cordons dunaires (ou de galets), que l'on trouve généralement en pied de falaises, joueront moins leur rôle d'atténuateur de houle au pied de ces falaises et l'érosion pourrait en être accrue.

Le changement climatique attendu devrait également être à l'origine de modifications des circulations atmosphériques, avec une augmentation probable de la fréquence et de l'intensité des tempêtes. Les modèles climatiques prévoient peu de modifications pour la France métropolitaine, mais une aggravation, dans les Caraïbes.

### L'impact des activités humaines

L'installation, sur le littoral, de zones urbanisées, de ports, puis d'ouvrages de protection ont notablement perturbé le fonctionnement naturel, en aggravant (ou en

créant) le phénomène de l'érosion côtière. Ce « bétonnage » des fronts de mer induit non seulement une perturbation des échanges naturels, mais aussi un déficit de sédiments. En effet, de manière naturelle, ces zones s'ajustent dynamiquement aux variations du niveau de la mer en migrant, tantôt vers l'intérieur des terres, tantôt vers la mer (figure 3). Or la construction de structures à proximité du trait de côte (routes, digues, urbanisation...) constitue autant de barrières rigides s'opposant à cette dynamique naturelle. Les aménagements urbains sur les dunes et les cordons dunaires ont en partie bloqué les échanges dune/plage/mer, et les ports ou les ouvrages de protection de la côte ont perturbé le transit littoral de sédiment.

Pendant des décennies, le trait de côte a été géré de manière fixiste, à l'aide de méthodes rigides, afin de limiter ponctuellement l'érosion ou la submersion lors de tempêtes. Ces approches traditionnelles peuvent avoir des effets contreproductifs. Une connaissance insuffisante des processus de transport des sédiments côtiers a souvent abouti à l'adoption de mesures inappropriées pour tenter de remédier à l'érosion côtière. Les ouvrages perpendiculaires aux côtes, tels que les épis, arrêtent les dérives littorales, mais ils piègent les sédiments en amont (figure 4). En résolvant localement le problème d'érosion, ils peuvent nuire aux plages situées en aval des courants côtiers, en les privant de

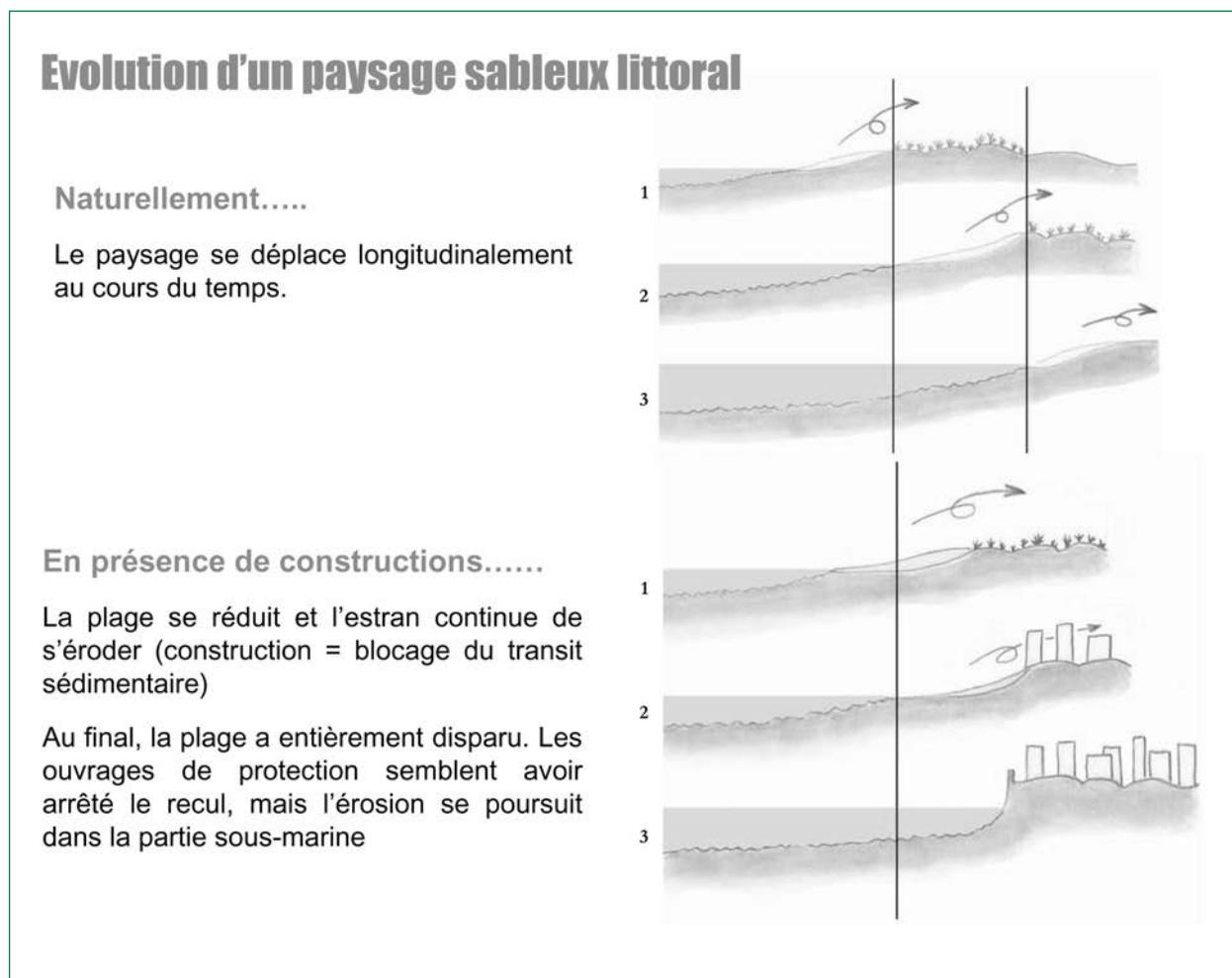


Figure 3. Evolution d'un paysage sableux littoral.



**Figure 4.** Falaises de craie de Criel sur Mer (Seine Maritime) : impact d'épis.

© T. DEWEZ

ces sédiments. Les ouvrages longitudinaux (digue, perré...) favorisent quant à eux le renforcement de l'agitation de la mer à leur pied, ce qui a pour résultat une érosion sous-marine qui peut, au final, déstabiliser les ouvrages en en sapant le soubassement. Dans beaucoup de cas, les mesures prises ont probablement résolu le problème, localement et momentanément, mais elles l'ont aggravé ailleurs. En effet, l'érosion ne s'arrête pas aux limites administratives et ces solutions au cas par cas ont, bien souvent, généré (ou aggravé) les phénomènes d'érosion dans les communes limitrophes : la solution de l'un est devenue le problème du voisin ! C'est ainsi que l'on a vu la construction progressive, de proche en proche, d'épis, en Languedoc-Roussillon, dont le nombre a fini par atteindre près de 200.

Par ailleurs, les aménagements des fleuves (barrages, endiguements) ont nettement réduit les apports de sédiments à la côte.

### **Une surveillance indispensable des risques, en vue de les gérer efficacement**

Dès lors que les phénomènes et les risques sont bien connus, il devient possible de les gérer et de les prévenir efficacement. Il convient donc de connaître les processus avec précision, d'en suivre les évolutions, de les cartographier.

Afin d'estimer les enjeux liés à l'érosion, aux submersions et à l'élévation du niveau de la mer, ainsi qu'aux tsunamis,

il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des phénomènes historiques et actuels des effets des tempêtes, ce qui nécessite des réseaux de mesure pérennes dans le temps. Il n'est pas nécessaire d'envisager ce suivi sur tout le littoral, mais sur des sites spécifiques et complémentaires en termes d'érosion/engraissement (sites naturels/artificialisés, sites emblématiques...) Cette connaissance permet de déterminer les signes précurseurs de la dégradation des plages, ou des côtes rocheuses ou vaseuses. Comment une plage réagit-elle à une tempête et comment se reconstruit-elle ? Cette connaissance permet d'orienter efficacement les recommandations d'éventuels travaux post-tempête ou, encore de connaître la dynamique en amont de projets d'ouvrages de défense des côtes. Au-delà de ces aspects, de tels réseaux permettent de mesurer, sur la durée, l'impact du changement climatique et de calibrer/valider les scénarios d'évolution possibles (figure 5).

Des progrès significatifs sont en cours en matière de modélisation numérique de l'évolution des zones littorales grâce au couplage de modèles hydrodynamiques et morphodynamiques : modèles de courant, de houle et modèles de transport sédimentaire. Ces modèles permettent de prédire l'impact sur le littoral de phénomènes tels que les tempêtes, les cyclones ou les tsunamis. Toutefois, pour connaître l'extension de la submersion marine (temporaire ou permanente), il est nécessaire de disposer d'une topographie fine du littoral, notamment en altitude, avec une résolution de l'ordre de la dizaine de cm. La couverture topographique

nationale (BD Alti de l'IGN), tout en convenant tout à fait pour les besoins habituels, à une résolution de 1 m en matière d'altitude qui est insuffisante pour les zones très plates, telles que la Camargue, le Languedoc, la Vendée... Les levés topographiques et bathymétriques (avec une pénétration possible jusqu'à une trentaine de mètres dans des eaux claires) réalisés au moyen d'un lidar (laser aéroporté) permettent d'acquérir ces données avec les résolutions et précisions nécessaires. Le projet Litto3D, mené par l'IGN et le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine), a permis de tester ces techniques pour construire un modèle numérique de terrain, précis et continu terre-mer, sur le Golfe du Morbihan et la Rade de Toulon. A ce jour, des initiatives sont prises (localement ou régionalement) par différents organismes ou collectivités (IFREMER, BRGM, CG 34, DIREN NPC, La Réunion, La Martinique...), mais il n'y a pas, en France, de levé systématique, comme c'est le cas aux Pays-Bas (où ce levé est annuel), en Belgique ou encore en Angleterre (un premier levé étant réalisé sur toutes les zones basses alluviales et littorales, avec une répétition prévue tous les cinq ans).

Il est également important de capitaliser les connaissances en la matière aux niveaux national, régional et local et de les rendre accessibles à tous les acteurs du littoral, au travers de bases de données et de systèmes d'information géographique interopérables.

En parallèle à la connaissance des enjeux existants sur le littoral, celle de l'occupation du sol directement à l'arrière des secteurs côtiers est indispensable afin d'identifier les populations, les infrastructures et les secteurs à forte valeur écologique qui sont (ou seront) mis en danger par les différents aléas littoraux.

### De nouvelles stratégies de gestion du trait de côte

De nouvelles orientations d'aménagement et de gestion du littoral sont progressivement mises en place, en ce qui concerne cette interface terre-mer.

#### *Gérer à l'échelle appropriée*

Il est important de gérer les problèmes à l'échelle des phénomènes, c'est-à-dire à l'échelle des cellules hydro-sédimentaires, qui sont des zones où les mouvements de sédiments (mise en suspension, transport et dépôt) sont dans une large mesure autonomes. D'un point de vue pratique, cela signifie que les aménagements réalisés dans une cellule sédimentaire spécifique peuvent avoir un impact sur d'autres secteurs de la même cellule sédimentaire, mais qu'ils n'auront pas d'incidence significative sur les cellules adjacentes.



Figure 5. Tempête à Capbreton (département des Landes) du 14 mai 2002.

© MALLET



Figure 6. Un espace littoral très réduit (Martinique).

© Nicole LENÔTRE

### De nouvelles techniques de protection

Depuis une vingtaine d'années, d'autres méthodes de gestion se sont développées (en particulier, les techniques dites douces, ou souples, qui ne fixent pas le trait de côte, mais en ralentissent l'évolution ou permettent l'engraissement de plages). Ces nouvelles techniques concernent essentiellement les plages (de sable ou de galets). Pour n'en citer que quelques-unes :

- ✓ le rechargement de plage est une approche qui est de plus en plus pratiquée, dans le monde entier ;
- ✓ différentes techniques de stabilisation des dunes, telles que les plantations de végétaux (oyats, notamment, le recouvrement par des branchages, la mise en place de ganivelles, ces clôtures en bois, semi-perméables, qui piègent le sable et présentent l'avantage de canaliser la fréquentation humaine des plages ;
- ✓ le drainage de plage ;
- ✓ les géotextiles ;

les atténuateurs de houles, qui ont pour rôle d'atténuer l'énergie des houles de tempêtes sur la côte, mais qui doivent laisser passer, par ailleurs, les petites houles de beau temps, qui permettent le rechargement naturel des plages en sédiments.

Il n'y a pas une technique qui serait universelle, mais un ensemble de techniques complémentaires, qui doivent être

utilisées en fonction de la connaissance que l'on a des phénomènes. Un guide de gestion du trait de côte, réalisé sous l'égide du Ministère en charge de l'équipement, doit être publié prochainement.

Lors de la mise en place d'ouvrages de protection, il est important que la technique utilisée (qu'elle soit rigide, ou souple) soit accompagnée d'un suivi dans le temps, afin non seulement d'en évaluer l'efficacité, mais également de vérifier qu'elle n'engendre pas d'impact majeur sur les secteurs adjacents.

Actuellement, l'on est confronté à une pénurie de sédiments sur notre littoral. En effet, les grands apports de sable sur le plateau continental et sur le littoral ont eu lieu lors de la dernière déglaciation, et la mise en place des grands systèmes sableux (tels que ceux de l'Aquitaine, les dunes de Merlimont dans le Nord-Pas-de-Calais ou les lidos du Languedoc) date de 1 500 à 2 000 ans. Cette pénurie est aggravée par le déficit d'apport de sédiments par les fleuves et par les aménagements apportés au littoral. Il est donc important de mettre en place des plans de gestion des sédiments littoraux afin de gérer, au mieux, les stocks existant à terre et en mer, de connaître les sources naturelles d'approvisionnement des plages et de définir des réserves stratégiques de sédiments (sables, graviers, galets), mais également des zones possibles d'extraction. Il est essentiel de maintenir des espaces de liberté, grâce notamment au

maintien d'espaces naturels côtiers opérant comme des zones tampons entre la mer et l'arrière-pays. A ce titre, le rôle que joue le Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres, notamment de par sa mission d'acquisitions foncières, est primordial [8] (figure 6).

### Différentes stratégies de gestion du littoral

Les nouveaux aménagements (urbanisation, routes...) doivent tenir compte des leçons apprises du passé et prendre en compte les aléas d'érosion, de submersion et d'élévation du niveau de la mer dans les projets d'aménagement dont la durée de vie est de plusieurs dizaines d'années. Il est important de se placer dès maintenant dans une logique de prévention, et non plus de réaction à un problème. Même si on ne connaît pas avec précision ces phénomènes (notamment l'élévation du niveau de la mer), le principe de précaution doit s'appliquer, notamment en évitant de densifier les zones urbanisées et en anticipant l'évolution possible des phénomènes. Dès le démarrage des projets d'aménagement, il faut avoir présent à l'esprit que les avantages d'une construction à proximité de la mer ont un coût, qui pourra peser financièrement sur la société dans les années futures. La loi Littoral du 3 janvier 1986 traduit ce souci de précaution en fixant une bande inconstructible de 100 m de largeur en dehors des espaces urbanisés, cette zone *non aedificandi* pouvant être étendue à plus de 100 m par le plan local d'urbanisme (PLU), « lorsque l'érosion des côtes le justifie ». Il semblerait raisonnable de l'étendre aux zones potentiellement inondables et de prendre en compte l'élévation attendue du niveau de la mer.

Pour les zones aménagées, il sera difficile de protéger toutes les côtes, que se soit sur le plan technique ou sur le plan financier. Il est nécessaire de faire des choix de gestion et de protection. Plusieurs stratégies de gestion sont possibles (figure 7) :

- ✓ la stratégie « sans regret », *a minima*, qui consiste à éviter de faire de nouvelles constructions dans les zones à forts risques ou à réduire les risques actuels en agissant sur la composante la plus pertinente du risque (aléa ou enjeu) ;
- ✓ organiser un recul stratégique, en déplaçant les enjeux et en identifiant une nouvelle ligne de défense (c'est l'option qui a été retenue pour le lido de Sète, où la route implantée sur le cordon dunaire est déplacée vers l'intérieur des terres) ;
- ✓ maintenir le trait de côte en conservant et en adaptant les ouvrages de défense. Cette option est adoptée dans les zones où les enjeux à protéger sont importants et difficiles (voire impossibles) à déplacer ;
- ✓ intervenir de façon limitée en accompagnant les processus naturels pour réduire l'aléa ;
- ✓ ne rien faire, là où aucun enjeu ne justifie une action de gestion (mais assurer un suivi, en tant que de besoin).

Le choix de l'option sera fait après une analyse coût/bénéfice tenant compte des coûts des protections (voire, de l'efficacité des protections) et des coûts des enjeux, ainsi que de la valeur socio-économique de la zone

concernée (tourisme...). Cette analyse permet de hiérarchiser/prioriser les mesures d'adaptation en insistant sur les mesures peu coûteuses, offrant les gains potentiellement les plus importants.

En France, de nombreux outils de planification ou de réglementation existent, certains étant spécifiques au littoral (SMVM, contrats de baie, PPR-Littoraux) et d'autres plus génériques (DTA, SCoT, PLU, SAGE, sites classés, réserves naturelles, arrêtés de biotope, parcs nationaux et régionaux...) Malgré cela, on constate que l'organisation territoriale est relativement mal adaptée à la gestion du littoral, avec une difficulté méthodologique majeure à englober la terre et la mer dans un même cadre juridique. La gouvernance est également mal adaptée à la multiplicité des acteurs intervenant sur le littoral. Il est nécessaire d'avoir une gestion intégrée des zones côtières, qui prenne en compte à la fois la composante terrestre et la composante marine de ces territoires. A cet effet, la Commission européenne a émis une recommandation, en 2002 (2002/413/CE), sur la mise en œuvre d'une stratégie de gestion intégrée des zones côtières.

En application du Plan Climat français (2006), un groupe de travail interministériel « Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France » a été constitué afin d'engager un chantier d'évaluation des dommages, ainsi que des mesures permettant de limiter le coût des impacts. Un des groupes sectoriels, « Risques Naturels,

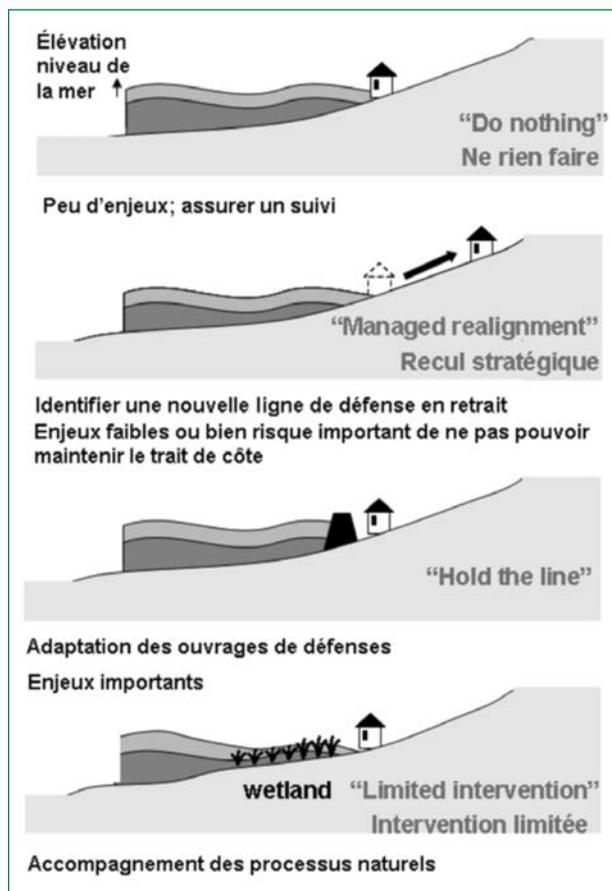


Figure 7. Stratégies génériques d'adaptation face à la montée du niveau marin (d'après EuroSION, 2004).

Assurances et adaptation au Changement Climatique », a traité notamment de la question des risques côtiers [9].

Dans le cadre du Grenelle de la Mer, le groupe de travail n° 1 « La délicate rencontre entre la terre et le mer » a traité des questions des risques naturels et du changement climatique [10]. Plusieurs engagements portent sur ce thème, dont :

- ✓ l'engagement n° 70 : Anticiper la réalisation de l'objectif du « tiers sauvage » à l'échéance 2020-2030, au lieu de 2050 (Conservatoire du littoral) ;
- ✓ l'engagement n° 74, qui demande :
  - de rendre obligatoires les Plans de Prévention des Risques Naturels et Technologiques dans les communes littorales ;
  - de prendre en compte systématiquement les risques naturels (tsunamis...), la hausse générale des mers et les autres effets du changement climatique dans les politiques d'aménagement du territoire et d'adapter les schémas de planification en conséquence, afin de réduire la vulnérabilité des populations et des territoires, une attention particulière devant être apportée aux effets de l'élévation possible du niveau de la mer pour les activités industrielles (existantes ou à venir) installées à proximité de l'eau ;
    - d'élaborer, sur des sites pilotes (notamment outre-mer), des plans de retrait face à la montée des eaux ;
    - de recenser et mettre en place un suivi des points critiques vis-à-vis des menaces à court terme (altimétrie, érosion, état des ouvrages...) ;
    - enfin, de développer une méthodologie et une stratégie nationales (collectivités et Etat) de gestion du trait de côte, permettant notamment de déterminer le choix, au cas par cas, entre le recul stratégique et la défense contre la mer.

## CONCLUSION

Vivre avec les risques naturels actuels et le changement climatique sur le littoral, c'est comprendre les processus, suivre l'évolution des phénomènes et les cartographier, en tirer les enseignements en termes de politiques d'aménagement du territoire en se situant dans l'anticipation et la prévention. C'est donc sur le long terme qu'il faut appréhender

les tendances évolutives et mesurer, dès à présent, les adaptations naturelles du littoral au changement climatique.

Une nouvelle culture de gestion des risques côtiers est en train de se mettre en place, qui fonctionne sur le long terme – une culture qui accepte une gestion souple, afin d'accompagner les changements. Cette évolution ne sera réussie qu'au travers d'une concertation forte entre tous les acteurs du littoral (chercheurs, Etat, élus, gestionnaires, professionnels, milieu associatif).

## Note

\* Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM).

## Bibliographie

- [1] IFEN : Analyse statistique et cartographie de l'érosion marine, dossier n°6, 36 p., Octobre 2007.
- [2] Vivre avec l'érosion côtière en Europe. Conclusions de l'Etude EuroErosion, 2005 et [www.euroerosion.org](http://www.euroerosion.org)
- [3] (P.) GUENNOU & (N.) LENOTRE, *Evolution des côtes françaises au rythme des mouvements verticaux*, Géosciences n°9, pp 46-55, 2009.
- [4] (S.) RAHMSTORF, *A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise* : Science, Vol. 215, pp. 368-369, 19<sup>th</sup> January 2007.
- [5] (A.) GRINSTED, Æ J. C. Moore, Æ S. Jevrejeva : *Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD*, Climate Dynamics, 2009.
- [6] (J. E.), HANSEN, *Scientific reticence and sea level rise*, *Environmental research letter* 2, 6 p., April-June 2007.
- [7] (A.) LOMBARD, *Les variations actuelles du niveau de la mer : observations et causes climatiques*, La Météorologie, 57, pp. 13-21, nov. 2007.
- [8] Bilan de la loi Littoral et des mesures en faveur du littoral. Délégation interministérielle à l'aménagement et à la compétitivité des territoires. Secrétariat général de la mer, Paris, 2007.
- [9] (G.) LE COZANNET, (N.) LENOTRE, (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* – Groupe de Travail « Risques Naturels, Assurances et Adaptation au Changement Climatique », BRGM RP 57 141, 128 p., Avril 2009.
- [10] Grenelle de la mer : [www.legrenelle-mer.gouv.fr](http://www.legrenelle-mer.gouv.fr)

## La couverture financière des événements climatiques extrêmes\*

La question est posée, dans le contexte d'événements climatiques potentiellement de plus en plus dévastateurs : qui assumera les coûts de tels désastres ? Dans les pays industrialisés, l'assurance a traditionnellement joué un rôle majeur dans ce domaine, en couvrant les individus et les entreprises contre les conséquences économiques des grands risques naturels, moyennant le versement de primes d'un montant relativement modeste, en regard des pertes potentielles. L'assurance est aujourd'hui (on le sait peu) un des plus importants secteurs économiques dans le monde, en termes de revenus générés par ses activités. Néanmoins, les systèmes d'assurance traditionnels montrent aujourd'hui leurs limites, confrontés qu'ils sont non plus à une grande catastrophe survenant en moyenne tous les vingt ans (ce qui permettait de collecter assez de primes les autres années), mais à une multiplication de catastrophes rapprochées dans le temps...

par Erwann MICHEL-KERJAN\*\*

Ainsi, en 2004 et 2005, sept ouragans de grande ampleur ont frappé les Etats-Unis en l'espace de quinze mois, occasionnant plus de 120 milliards de dollars de pertes couvertes par les assurances, soit plus de trois fois les pertes assurées pour les attentats terroristes du 11 septembre 2001 (qui furent, à l'époque, le sinistre le plus coûteux de toute l'histoire mondiale de l'assurance). Il s'en est ensuivi une crise de l'assurance catastrophe, puis une transformation de fond du système d'assurance américain, qui entraîna une redistribution radicale des rôles entre les assureurs privés et les Etats, en faveur de ces derniers – une situation quelque peu surprenante, au pays du « tout marché » (Kunreuther, Michel-Kerjan, 2009). Nous sommes entrés dans une nouvelle ère : la finance des événements climatiques extrêmes ne relève plus exclusivement du secteur privé – à travers les compagnies d'assurance et les compagnies de réassurance (l'assurance de l'assurance), ou encore *via* le recours à de nouveaux instruments financiers de transfert des risques de catastrophes. Elle est devenue également publique, relevant désormais de la gouvernance.

L'Europe et la France n'ont pas connu de telles situations extrêmes, mais les récentes inondations, les tempêtes et les vagues de chaleur qu'elles ont subies sont autant de signaux d'alarme pour les prochaines années, de ce côté-ci de l'Atlantique. Aussi, bien qu'étant considérée comme faiblement probable, l'hypothèse d'un changement abrupt du climat n'est pas totalement exclue des discussions scientifiques, un tel changement pouvant entraîner des conséquences catastrophiques (Weitzman, 2007, 2009).

### Une nouvelle ère de catastrophes

Dans le passé, les Français ont été relativement épargnés par les grands événements naturels dévastateurs.

Néanmoins, notre pays a subi une alternance de sécheresses et d'inondations importantes au cours des vingt dernières années. Les tempêtes Lothar et Martin (en décembre 1999) et la canicule de 2003 sortaient des cadres envisagés par les modèles de prévision météorologique traditionnels : ces phénomènes ont accentué le sentiment de vulnérabilité et la prise de conscience de la possibilité d'un bouleversement climatique majeur.

A l'échelle internationale, la croissance récente du nombre de catastrophes d'origine naturelle est encore plus significative, avec un impact très net sur le coût pour les assureurs. La comparaison des vingt dernières années (1989-2008) avec les dix-neuf années précédentes (1970-1988) révèle un changement radical dans l'évolution du coût des catastrophes (Voir la figure 1).

De 1970 au milieu des années 80, les pertes assurées dues à des catastrophes d'origine naturelle dans le monde atteignaient 3 à 4 milliards de dollars par an. Les tempêtes de 1987 en Europe et l'ouragan Hugo de 1989 (aux États-Unis) furent les deux premiers sinistres à occasionner des remboursements d'assurance dépassant la barre symbolique du milliard de dollars. Trois ans plus tard, l'ouragan Andrew, en Floride, qui occasionna plus de 15,5 milliards de dollars de dommages assurés (soit 24,6 milliards de dollars de 2008) fut le premier d'une série de catastrophes de grande ampleur.

Les événements climatiques extrêmes ont continué à infliger des remboursements d'assurance majeurs : 49 milliards de dollars en 2004, 87 milliards de dollars en 2005, puis 50 milliards en 2008 (1). L'ouragan Katrina a coûté à lui seul près de 48 milliards de dollars (valeur 2008) aux assureurs et réassureurs privés, cet événement causant à lui seul plus de pertes que l'ensemble des catastrophes survenues dans le monde durant toute la décennie 1970 (2).

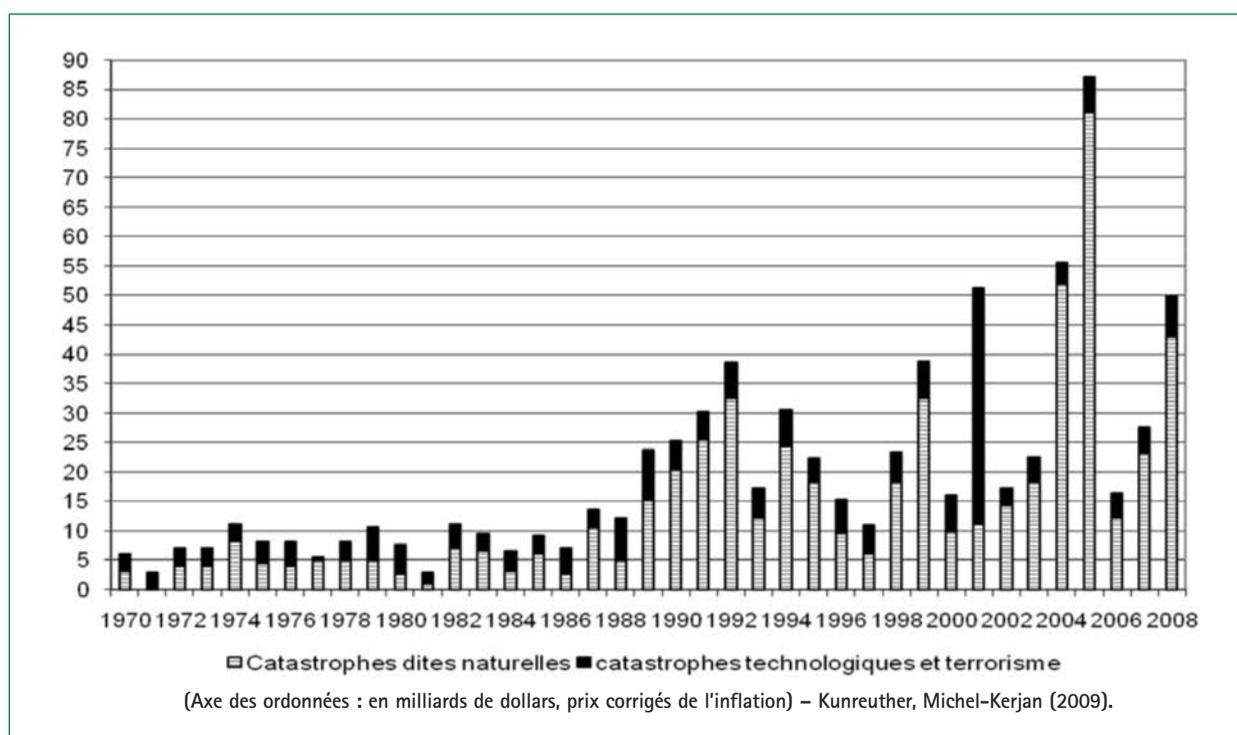


Figure 1. Evolution mondiale des dommages assurés dus aux catastrophes, 1970-2008.

Milliards de dollars de 2008	Événement	Victimes (décès ou portés disparus)	Année	Pays principalement touché(s)
48.1	Ouragan Katrina	1 836	2005	USA, Golfe du Mexique, <i>et al.</i>
36.8	Attaques terroristes	3 025	2001	USA
24.6	Ouragan Andrew	43	1992	USA, Bahamas
20.3	Séisme de Northridge	61	1994	USA
16.0	Ouragan Ike	348	2008	USA, Caraïbes, <i>et al.</i>
14.6	Ouragan Ivan	124	2004	USA, Caraïbes, <i>et al.</i>
13.8	Ouragan Wilma	35	2005	USA, Golfe du Mexique, <i>et al.</i>
11.1	Ouragan Rita	34	2005	USA, Golfe du Mexique, <i>et al.</i>
9.1	Ouragan Charley	24	2004	USA, Caraïbes, <i>et al.</i>
8.9	Typhon Mireille	51	1991	Japon
7.9	Ouragan Hugo	71	1989	Puerto Rico, USA, <i>et al.</i>
7.7	Tempête Daria	95	1990	France, UK, <i>et al.</i>
7.5	Tempête Lothar	110	1999	France, Suisse, <i>et al.</i>
6.3	Tempête Kyrill	54	2007	Allemagne, UK, NL, France
5.9	Tempête et inondations	22	1987	France, UK, <i>et al.</i>
5.8	Ouragan Frances	38	2004	USA, Bahamas
5.2	Tempête Vivian	64	1990	Europe de l'ouest/centrale
5.2	Typhon Bart	26	1999	Japon
5.0	Ouragan Gustav	153	2008	USA, Caraïbes, <i>et al.</i>
4.7	Ouragan Georges	600	1998	USA, Caraïbes
4.4	Tempête tropicale Alison	41	2001	USA
4.4	Ouragan Jeanne	3034	2004	USA, Caraïbes, <i>et al.</i>
4.0	Typhon Songda	45	2004	Japon, Corée du Sud
3.7	Tempête	45	2003	USA
3.6	Ouragan Floyd	70	1999	USA, Bahamas, Colombie

Tableau 1. Les 25 catastrophes les plus coûteuses pour l'assurance mondiale – 1970-2008.

Le tableau 1, qui recense les 25 catastrophes les plus coûteuses pour le secteur de l'assurance sur la période 1970 – 2008, montre que : a) ces catastrophes sont toutes survenues après 1987 et, pour plus de la moitié d'entre elles, depuis 2001 ; b) hormis les attaques terroristes du 11 septembre 2001 et le séisme de 1994 en Californie, ces catastrophes étaient toutes des événements climatiques ; enfin, c) les États-Unis ont manifestement été les plus touchés, la France apparaissant, pour sa part, à trois reprises dans ce tableau (mentions en italique).

Au-delà des pertes assurées, cette période de dévastations à grande échelle a aussi été marquée par des tragédies humaines en série : 35 000 morts, en 2003, lors de la

forte densité d'assurance des biens et des personnes ; c) la dégradation de l'habitat environnemental, qui, jadis, protégeait mieux les zones exposées et, enfin, d) l'impact possible d'un changement du climat sur l'occurrence d'événements climatiques plus intenses. Revenons maintenant sur ces quatre types de raisons :

En 2000, les villes comptaient 3 milliards d'habitants (soit environ la moitié de la population mondiale), à comparer à 0,75 milliard d'habitants en 1950 (soit 30 % de la population mondiale, à l'époque). Elles compteront près de 5 milliards d'habitants en 2025 (soit 60 % de la population mondiale), d'après les projections des Nations Unies. Conséquence de cette évolution, les « méga-cités » de plus



© Manfred Gottschalk/ALTITUDE

« Conséquence de cette évolution, les "méga-cités" de plus de 10 millions d'habitants se multiplient [...]. Or, nombre de ces mégalo-poles sont potentiellement exposées à des événements climatiques ou sismiques de grande ampleur. » Shanghai, vue générale sur le quartier Pudong et la tour Jinmao.

canicule ayant sévi en Europe, 220 000 en décembre 2004, lors du tsunami dans le Sud-est asiatique, 140 000 en mai 2008 lors de l'ouragan majeur Nargis (au Myanmar), 70 000, le même mois, au cours d'un séisme dans la région du Sichuan, en Chine (pour ne citer que quelques exemples).

### **Comment expliquer cette évolution radicale ?**

Les raisons de cette évolution récente sont multiples : a) l'accroissement de la population dans les zones urbaines exposées ; b) l'accroissement des valeurs des biens matériels dans ces mêmes zones à risque, souvent associé à une

de 10 millions d'habitants se multiplient : en 1950, New York était la seule méga-cité dans le monde ; quarante ans plus tard, on en comptait douze ; d'ici 2015, il y en aura vingt-six, parmi lesquelles Tokyo (29 millions d'habitants), New York et Shanghai (18 millions) et Los Angeles (14 millions) (Crossett *et al.* 2004). Or, nombre de ces mégalo-poles sont potentiellement exposées à des événements climatiques ou sismiques de grande ampleur.

Parallèlement, de plus en plus de personnes vivent sur les côtes et sont donc exposées aux tempêtes et aux inondations. C'est actuellement le cas de près de la moitié de la population des États-Unis. L'État de Floride est emblématique, à cet égard, avec ses retraités, qui, attirés par la clé-

mence du climat, ont contribué à une augmentation fulgurante de la population, qui est passée de 2,8 millions de personnes en 1950, au double en 1970, puis au quadruple, en 1990 (13 millions). En 2010, plus de 19 millions de personnes devraient vivre en Floride, augmentant d'autant la vraisemblance de pertes sévères sous l'effet d'ouragans de grande ampleur, à moins que des mesures ne soient prises rapidement, afin de réduire le degré d'exposition. Si, demain, devait survenir un ouragan identique à celui qui a touché la Floride en 1926, il occasionnerait des pertes économiques deux fois plus importantes que celles ayant résulté de Katrina en 2005, du seul fait de l'inflation monétaire et de l'augmentation de la valeur des biens exposés au risque considéré (Pielke *et al.* 2008).

L'augmentation des populations urbaines et côtières conduit à un troisième facteur d'aggravation de la vulnérabilité aux événements climatiques extrêmes : la dégradation des protections naturelles. Dans beaucoup de pays, les villes se sont construites au détriment d'écosystèmes qui opposaient des barrières naturelles aux tempêtes et aux inondations. Cette dégradation est intervenue au fil des années, voire des décennies, augmentant d'autant le coût de la restauration de services naturels indispensables (*voir les chapitres 1 et 2*).

Quatrième raison de cette évolution : le changement climatique, tel qu'on peut l'observer aujourd'hui et l'anticiper pour les décennies à venir, risque d'amener des événements climatiques plus extrêmes, même si l'estimation de leurs effets est encore incertaine, du point de vue scientifique (voir IPCC, 2007) (3). En tout état de cause, nous serons vraisemblablement les témoins de tempêtes plus intenses (voire, également, plus nombreuses dans le bassin Atlantique, en raison du retour à un cycle d'ouragans intenses), d'épisodes de sécheresse et de canicule plus marqués et d'inondations majeures répétées (notamment, du fait de l'élévation du niveau de la mer) (4).

### Catastrophes, finance et politique

Ces quatre raisons combinées créent les conditions de catastrophes de plus grande ampleur et de fréquence plus élevée à l'avenir. D'où un accroissement notable de la volatilité, d'une année sur l'autre, et donc une incertitude fort peu appréciée des assureurs. Ajoutons à cela que les quatre types de raisons évoqués plus haut tiennent essentiellement à des activités humaines en évolution, ce qui amène une « incertitude endogène dynamique ». C'est, en effet, à cause de l'action humaine que les événements d'origine naturelle prennent une dimension catastrophique. Cette affirmation n'est bien évidemment pas nouvelle, mais elle doit être davantage soulignée de nos jours qu'il y a 30 ou 40 ans (Michel-Kerjan, 2006).

Ainsi, les catastrophes en série de ces dernières années ont été autant de chocs pour les marchés de l'assurance, en particulier aux États-Unis. Or, la capacité des assureurs privés à couvrir des risques dans différentes zones exposées dépend de l'indépendance des risques entre eux et de leur agrégation d'exposition (les assureurs ne peuvent couvrir

qu'un nombre maximum de personnes et d'entreprises, sinon ils encourent le risque de pertes cumulées très sévères). Cette capacité dépend aussi de la possibilité de transférer une partie de leur exposition vers les réassureurs de taille mondiale et/ou vers des investisseurs sur les marchés financiers (5), et de fixer un prix de couverture qui reflète le niveau de risque de leurs assurés et le coût du capital, tout en leur permettant un certain profit. Or, suite aux ouragans de 2004 et 2005, le prix de la réassurance des catastrophes aux États-Unis a augmenté de 75 % entre juillet 2005 et juin 2006 au niveau national, et de 150 % pour les assureurs opérant uniquement en Floride (considérés comme plus exposés). D'après une récente étude du *Center for Risk Management* de la *Wharton Business School* de Philadelphie, en collaboration avec la *Georgia State University* d'Atlanta et l'*Insurance Information Institute* de New York, les primes d'assurance habitation en Floride (incluant la couverture contre les effets du vent, mais pas contre l'inondation) ont plus que doublé, en moyenne, entre 2002 et 2007 (passant de 723 à 1 465 dollars par an). Dans les régions côtières, le prix des assurances a triplé, voire quadruplé, malgré une régulation des marchés très contraignante pour les assureurs dans l'Etat de Floride (Kunreuther, Michel-Kerjan, 2009).

Nonobstant ces augmentations de prix, les assureurs craignent que les sept ouragans de 2004 et 2005 n'aient été annonciateurs d'une nouvelle ère se caractérisant par des catastrophes répétées et très coûteuses, susceptibles de les conduire rapidement à la ruine. Après des saisons d'ouragans relativement calmes en 2006 et 2007, l'année 2008 a vu, de nouveau, des ouragans très dévastateurs toucher le pays (6). Désormais, certains grands assureurs refusent simplement de renouveler leurs polices d'assurance dans les régions exposées au risque d'ouragan. *State Farm*, la plus grande compagnie d'assurances de l'État du Mississippi (celui qui a subi de plein fouet les conséquences de Katrina) a arrêté d'y vendre de nouvelles polices d'assurance habitation et a officiellement annoncé, au printemps 2009, qu'elle avait l'intention de se retirer de l'Etat de Floride. *Allstate*, l'autre géant de l'assurance habitation aux États-Unis, en a fait de même dans plusieurs autres Etats américains.

La situation est particulièrement critique en Floride, du fait de la croissance fulgurante des valeurs exposées. A la fin de 2007, 2 400 milliards de dollars de biens assurés se situaient sur les côtes de Floride (à rapprocher des 1 900 milliards, de la fin 2004) : c'est là une véritable bombe à retardement au regard des ouragans à venir, potentiellement plus nombreux et d'intensité accrue. La réaction du Gouvernement de l'Etat de Floride a néanmoins surpris : plutôt que d'augmenter les tarifs d'assurance afin de refléter cette exposition accrue aux risques (incitant par-là même à ce que des mesures de réduction de ces risques soient prises), le Gouvernement a adopté de nouvelles lois autorisant l'assureur de dernier ressort géré par l'Etat, la *Citizens Property Insurance Corporation*, à concurrencer les assureurs privés en vendant des polices d'assurance à des prix artificiellement bas. Avant 2007, *Citizens* ne représentait que de 2 à 3 pourcents du marché. Sans surprise, cette

nouvelle politique de prix bas a vite fait de *Citizens* le plus grand assureur de Floride. Or, en sa qualité d'assureur de dernier ressort, *Citizens* peut légalement diluer l'ensemble de son déficit entre ses concurrents. De plus, *Citizens* est largement réassuré (à hauteur de 10 milliards de dollars, en 2009) auprès du *Florida Hurricane Catastrophe Fund* (FHCF), le réassureur public de l'Etat, qui peut, lui aussi, diluer son déficit entre les différents assureurs privés de Floride. Début 2009, l'exposition de *Citizens* était de 422 milliards de dollars, et celle du FHCF de plus de 1 500 milliards, sachant que celui-ci ne dispose que de 2.8 milliards de dollars de réserves... Il est donc bien clair que ces assureurs et réassureurs hybrides souffriraient d'un déficit majeur si une nouvelle série d'ouragans de grande ampleur devait toucher la région dans les années à venir. Leurs déficits seraient alors transmis aux assureurs privés opérant en Floride, à charge, pour eux, de récupérer ces sommes sur leurs propres assurés, à travers une augmentation des primes, comme cela fut déjà le cas en 2004 et en 2005... Il n'est donc pas étonnant de voir plusieurs grands assureurs privés simplement quitter ce marché.

### Conclusion

Paradoxe : c'est au pays du libéralisme économique, aux Etats-Unis, que la survenance de plusieurs grandes catastrophes, depuis 2001, a dramatiquement redéfini la question de la couverture financière des grands risques. Qui doit payer ? Comment utiliser l'architecture des circuits de l'assurance pour inciter à la prévention ? Fondamentalement, il s'agit de redistribuer les rôles et les responsabilités entre le secteur privé et le secteur public (pour le moment, en faveur de ce dernier) ou, à tout le moins, de s'acheminer vers la création de systèmes combinant les deux.

En France, le système « cat.nat », établi en 1982, rend cette couverture obligatoire. Son principe repose sur la solidarité nationale (tous les assurés paient la même surcharge, 12 pourcents de leur prime d'assurance incendie, indépendamment du risque auquel ils sont exposés) et les assureurs bénéficient d'une réassurance à très bon marché couvrant au moins la moitié de leur exposition, auprès du Réassureur public, la Caisse Centrale de Réassurance (CCR). Celle-ci bénéficie elle-même de la garantie illimitée de l'Etat. Il ne s'agit pas véritablement d'un marché d'assurance, car le prix de l'assurance catastrophe n'est pas fixé par le jeu de l'offre et de la demande. Même avec les tempêtes de 1999 et de coûteuses sécheresses à répétition, le système français n'a pas eu à souffrir – jusqu'à présent, tout au moins – de catastrophe d'une ampleur comparable à celle de Katrina (Godard *et al.*, 2002 ; Latruffe et Picard, 2005) (7). Cela étant, le prix de l'assurance a néanmoins augmenté considérablement, en France, en 1999, avec une surcharge passant de 9 à 12 pourcents, soit une augmentation de plus de 30 pourcents, en valeur absolue.

Ce rapide aperçu de certaines des grandes questions que pose le financement des événements climatiques extrêmes montre que nous sommes entrés dans une nouvelle ère de risques à grande échelle. Cette nouvelle ère appelle un nou-

veau modèle de gouvernance, dont la composante financière est un pilier essentiel (8). Dans ce domaine en plein essor, les enjeux financiers, sociaux et politiques sont de première importance, non seulement dans les pays de l'OCDE où l'architecture d'assurance joue un rôle central, mais aussi dans les pays pauvres, dans lesquels tout événement climatique extrême provoque une tragédie humaine qui interrompt, par ailleurs, toute croissance économique naissante.

La décision prise récemment par les Nations Unies de mettre au centre des négociations de la conférence de Copenhague de décembre 2009 (visant à l'adaptation de nos sociétés au changement climatique) la question de l'importance des mécanismes d'assurance est une reconnaissance explicite et officielle de ces nouveaux enjeux. Elle nous montre certainement le chemin à suivre pour réfléchir collectivement à de nouvelles solutions, afin de pouvoir répondre aux événements extrêmes à venir.

### Notes

\* Cet article est issu d'un travail effectué par l'auteur pour l'Académie des sciences sur le thème « Écosystèmes et événements climatiques extrêmes » (groupe de travail dirigé par Henri Décamps).

\*\* The Wharton Business School, University of Pennsylvania, Etats-Unis Et Département d'économie, École Polytechnique, France. Président du Haut Conseil sur le financement des catastrophes de grande échelle auprès du Secrétaire Général de l'OCDE.

(1) De plus, ce montant exclut les pertes assurées dues aux inondations de la Nouvelle-Orléans, qui ont coûté 18 milliards de dollars au *National Flood Insurance Program*, le système fédéral américain d'assurance inondation.

(2) Il faut aussi tenir compte de l'accroissement de la capacité financière des compagnies d'assurance basées aux États-Unis (mesurée en *policyholders' surplus*) : 100 milliards de dollars en 1987, 300 milliards en 1997, 520 milliards de dollars en 2007. La récente crise financière a néanmoins un impact très important sur la capacité des assureurs à faire face aux conséquences de catastrophes de grande ampleur dans un avenir proche (sources : Swiss Re, AM Best et Insurance Information Institute).

(3) Pour plus de détails, on se reportera aux nombreuses études parues au cours de ces dernières années, notamment dans la revue *Science* et *Nature*.

(4) L'année 2005 a vu une série d'ouragans très intenses se former dans le bassin atlantique et elle a été une année record en ce qui concerne la température de la surface de l'eau dans le Golfe du Mexique (l'intensité des ouragans dépend de manière exponentielle de la température de l'eau). Le consensus scientifique est cependant loin d'être réuni sur le lien de cause à effet entre un éventuel changement du climat et la survenance de tempêtes plus dévastatrices que par le passé.

(5) Plusieurs instruments financiers ont été créés au cours des dix dernières années, pour transférer une part de l'exposition au risque de catastrophe directement sur les marchés financiers (options sur indice, obligations indexées, swaps, sidecars – Michel-Kerjan et Morlay, 2008), plutôt qu'au travers de l'assurance et de la réassurance traditionnelles.

(6) L'ouragan Ike, en septembre 2008 – près de 10 milliards de dollars de dommages assurés – est le troisième ouragan le plus dévastateur à avoir touché les côtes des Etats-Unis (même si les médias en ont relativement peu parlé, la crise financière monopolisant alors l'attention).

(7) La CCR disposait au printemps 2009 d'une capacité de paiement de 2,4 milliards d'euros. Bien que les résultats du régime des catastrophes

naturelles soient globalement équilibrés, cet équilibre pourrait être fortement déstabilisé en cas d'événement majeur. Par exemple, on estime que les dommages directs d'une inondation centennale en région parisienne représenteraient un coût de l'ordre de 5 milliards d'euros, et que ceux qui seraient associés à un séisme sur la Côte d'Azur pourraient atteindre les 15 milliards d'euros. (CCR, 2008).

(8) Michel-Kerjan (2005) ; Malleret et Michel-Kerjan (2007).

### Références bibliographiques

[1] CCR. (2008), *Les catastrophes naturelles en France*. Paris, Caisse Centrale de Réassurance, Septembre.

[2] Crossett K.M. et al. (2004). *Population Trends Along the Coastal United States: 1980 2008*, NOAA's National Ocean Service, Special Projects: Silver Spring, MD.

[3] Godard O., Henry, C., Lagadec, P., Michel-Kerjan, E. (2002). *Traité des nouveaux risques. Précaution, Crise, Assurance*, Gallimard, Folio, Inédit Numéro 100, Paris. 620 pages.

[4] Kunreuther H., Michel-Kerjan E.O. (2009), *At War with the Weather*, MIT Press. Cambridge, MA, USA. 448 pages.

[5] Latruffe, L., Picard, P. (2005). « Assurance des catastrophes naturelles : faut-il choisir entre prévention et solidarité ? » *Annales d'Economie et de Statistique*, numéro 78.

[6] Michel-Kerjan E., Kousky C. (2009). *Come Rain or Shine: Evidence on Flood Insurance Purchases in Florida*. Working paper, The Wharton

School, University of Pennsylvania and Kennedy School of Government, Harvard University. (A paraître, *Journal of Risk and Insurance*.)

[7] Michel-Kerjan E., Morlay F. (2008). *Extreme Events, Global Warming, and Insurance-Linked Securities: How to Trigger the Tipping Point? The Geneva Papers on Risk and Insurance* 33:153-176.

[8] Michel-Kerjan, E. (2006), *Couverture financière des « risques à grande échelle »: la parole est à la première industrie au monde*, *Annales des Mines*, Responsabilité et Environnement, Juillet 2006.

[9] Michel-Kerjan, E (2005). Katrina, c'est aussi la mondialisation. *Le Monde*, Pages Opinion-Débats, 4 septembre.

[10] Malleret, T., Michel-Kerjan, E. (2006). Face aux risques globaux, comment gouverner le monde. *Le Figaro*, Pages Opinions, 13 novembre.

[11] Pielke R. Jr et al. (2008), *Normalized Hurricane Damage in the United States: 1900-2005*, *Natural Hazard Review*, février, pp. 29-42.

[12] Weitzman, M. (2009), *On Modeling And Interpreting The Economics Of Catastrophic Climate Change*, *Review of Economics and Statistics*, 91(1): pp.1-19.

[13] Weitzman, M. (2007), *A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change*, *Journal of Economic Literature*. 45(3): pp. 703-724.

## L'éthique, fil conducteur de l'adaptation

Entretien de Paul-Henri BOURRELIER\* avec Alain GRIMFELD\*\*, Yves Le BARS\*\*\* et Claudine SCHMIDT-LAINÉ\*\*\*\*

### Paul-Henri Bourrelier

Emmanuel Le Roy Ladurie et René Favier montrent admirablement, au début de ce numéro, que les hommes, subissant des variations climatiques des plus sévères, ont connu des successions de désastres dramatiques et de périodes d'épanouissement (souvent symbolisées par de chaudes et glorieuses années viticoles) et qu'ils ont fait évoluer leurs représentations jusqu'à s'imaginer, aujourd'hui, qu'ils seraient désormais les maîtres du climat et les artisans des catastrophes futures. Tous les articles qui suivent reposent (ou débouchent) sur des positions éthiques et je suis heureux de pouvoir conclure ce numéro avec vous, Alain Grimfeld, Président du Comité consultatif national d'Éthique pour les sciences de la vie et de la santé, Yves Le Bars, Président du GRET, association professionnelle de solidarité et de coopération internationale, et Claudine Schmidt-Lainé, Directrice scientifique du CEMAGREF.

### L'équité entre pays, le développement des plus pauvres

Commençons par la question de l'équité entre pays, entre régions du monde.

Les pays du Sud sont peut-être mieux avertis que nous des caprices du changement climatique et peuvent puiser dans des savoirs acquis en vivant au plus près de la nature. Mais ils ont été précarisés par la spécialisation internationale et la domination d'un modèle occidental excessivement consommateur de ressources. Au surplus, ce n'est pas eux qui bénéficieront des changements avantageux, qui semblent devoir privilégier les pays froids du Nord... Il n'est pas mauvais que le Nord se sente non seulement responsable – responsable, il l'est, quel que soit le jeu des causes et des effets –, mais aussi menacé, comme l'est le riche de la fable, à côté du miséreux qui n'a rien à perdre : la peur n'est-elle pas le début de la sagesse ?

### Yves Le Bars

L'adaptation a, tout d'abord, été vue avec méfiance par certains scientifiques déterminés à convaincre les responsables économiques et politiques de la nécessité d'une réduction significative des émissions de gaz à effet de serre, dans la crainte que ce concept ne soit démobilisateur, et les ONG environnementales ont eu la même attitude. Après Nairobi (voir l'article de Marc Gillet), c'est dans le cadre de la négociation Climat, dans un premier temps à Bali (en décembre 2007), puis à Poznan (en décembre 2008), que

l'adaptation est venue au premier plan, à la suite d'un travail de longue haleine au sein des Nations Unies avec le groupe des pays les moins avancés (1). La nécessité d'anticiper les changements climatiques s'est traduite par l'établissement de *Plans d'actions nationales d'adaptation* (PANA). Le secrétaire de la Conférence considère qu'un financement stable et significatif de ces PANA est l'une des quatre exigences d'une négociation réussie, dans le cadre de l'UNFCCC. C'est à la fois une exigence éthique (les pays les moins développés risquent de souffrir des conséquences des excès des pays les plus riches) et une exigence diplomatique (l'appui des voix des pays du Sud étant indispensable à l'aboutissement de la négociation). La responsabilité des pays industriels est reconnue par les instances internationales, au nom du principe affiché durant toute cette négociation : « *the fairness of burden sharing* » (l'équité dans le partage du fardeau).

Mais cet argumentaire souffre d'une ambiguïté majeure : alors même que l'on veut identifier des actions spécifiques d'adaptation aux changements climatiques pour pouvoir les financer de manière spécifique, les actions de développement se conçoivent de plus en plus de manière intégrée. L'additionalité des financements de l'adaptation est une revendication politique qui s'inscrit mal dans la réalité des projets : il ne s'agit pas de mener des actions d'adaptation aux changements climatiques au profit du développement, mais d'adapter les projets de développement en fonction des changements climatiques. Ainsi, par exemple, un projet de développement social urbain devra intégrer une dimension de prévention des catastrophes naturelles (notamment de celles liées au climat). Un projet de développement agricole devra prendre en compte les risques de sécheresse dans sa sélection des semences... Les discours sur les besoins financiers de l'adaptation aux changements climatiques viennent souligner, à nouveau, la faiblesse des financements du développement, et ils en justifient l'accroissement.

La Conférence de Copenhague, avec de nouveaux mécanismes financiers, apportera-t-elle seulement quelques suppléments, ou un véritable changement de l'ordre de grandeur des fonds dédiés au développement ?

### Paul-Henri Bourrelier

Cependant, le développement n'est pas seulement une question financière, et c'est peut-être une des erreurs répétées qui ont été commises, que d'en réduire la problématique à ce seul facteur. D'ailleurs, quel sens donnons-nous au développement ?

Dans un lointain passé, les hommes ont su faire preuve d'une capacité d'adaptation extraordinaire (fruit de leur héritage génétique), alors que leurs moyens étaient sommaires et que leur déchiffrement du monde restait empreint d'ignorance. Leur survie – pour la minorité qui a survécu – dans des conditions climatiques extrêmes, dans les déserts et dans les régions polaires, est une démonstration admirable de leur ingéniosité, de leur créativité (2).

L'émigration a été, souvent, une solution partielle, à laquelle (par exemple) l'Europe a eu massivement recours au XIX<sup>e</sup> siècle. La contradiction inhérente à la mondialisation que nous connaissons actuellement, tient au fait que celle-ci fluidifie et magnifie la circulation des marchandises et des capitaux, mais non celle des hommes. Il y a, à cela, quelques raisons – dont le fait qu'il n'y a plus de territoires encore non appropriés –, mais ces raisons ne constituent pas pour autant une justification. Il faut distinguer les personnes déplacées à l'intérieur de certains pays des émigrés. On avance des chiffres impressionnants de « réfugiés climatiques », mais : sur quelle base ? Qui en profite ? Ne peut-on pas penser que les diasporas sont, pour certaines minorités, une forme d'émigration appropriée aux conditions techniques actuelles de déplacement, de formation, de retour des fonds ou de spécialisation, dans le cadre d'une diversité globale ? (3).

Quant à la survie et au développement des populations qui sont confrontées aux conditions naturelles les plus ingrates, à des explosions démographiques non maîtrisées ou à des dégradations des milieux qui ne sont pas toujours de leur fait... : que dire, par exemple, de l'Afrique, en faveur de laquelle François Papy affirme (dans ce numéro de Responsabilité et Environnement) qu'il faudra faire un effort considérable ?

*Yves Le Bars*

Oui, effectivement : le développement n'est pas qu'une question financière, mais le financement est un moteur de l'action qui fait trop souvent défaut... Dans son article, Pascal Dupuis décrit bien ce qui est mis en œuvre par la France pour lutter contre les effets du changement climatique : une organisation, une stratégie, bientôt un plan, en liaison avec ce que l'Union européenne annonce, et tout cela inclut un engagement de solidarité, à l'échelle mondiale.

Peut-être faut-il ajouter que les changements climatiques et l'adaptation nécessaire obligent à un renouveau de la planification (à l'échelle des Etats) et de l'urbanisme (à celle des collectivités territoriales). Cette nécessité vaut, bien sûr, pour les pays en voie de développement, mais aussi pour nous : notre politique urbaine, notre capacité à anticiper, via une action foncière publique, notre planification territoriale se sont fortement dégradées au cours des deux dernières décennies : il nous faut retrouver cette culture...

Certains s'interrogent sur les disparités entre les capacités des sociétés développées et celles des sociétés des pays les moins avancés, face aux nouvelles conditions climatiques. Ainsi, Hervé Kempf écrivait dans le Monde du 27 juin

2009 : « L'Afrique peut enseigner à l'Occident comment s'accommoder de la frugalité... »

Il y a, dans les pays les moins avancés, un dilemme apparent : il faut y accroître les capacités d'anticipation, améliorer les outils de la planification, alors que les autorités de ces pays sont aujourd'hui débordées par l'explosion urbaine, dépassées par les crises alimentaires et la malnutrition, bousculées par les crises sanitaires, le manque d'eau, le déficit de biens essentiels... Comment surmonter ce paradoxe entre la nécessité de se projeter dans l'avenir et celle d'apprendre à agir ? Ce sont des parcours du développement qu'il faut inventer dans ces contextes difficiles, mobilisant les capacités de tous : l'adaptation aux changements climatiques en est un des aspects clés, et aussi un des stimulants.

À l'égard des pays émergents, c'est un tout autre discours qui doit être tenu. Nous devons leur dire : « Ne faites pas comme nous : ne ratez pas la phase actuelle de la structuration de vos modes de vie et de votre économie, sinon vous le paieriez cher, dans le courant du 21<sup>e</sup> siècle ». En tenant ce discours, les dirigeants les plus lucides doivent trouver les voies pédagogiques permettant de freiner les impatiences, compréhensibles, des populations et d'explorer des modèles de développement originaux.

### **Les échelles des écosystèmes et des sociétés, leur viabilité**

*Paul-Henri Bourrelier*

Le climat et l'adaptation aux territoires sont étroitement liés. Mais à quelles échelles faut-il considérer les sociétés et les écosystèmes ? Telle est la question abordée par Martine Tabeaud.

*Claudine Schmidt-Lainé*

Les articles de Gilles Escarguel et de François Papy illustrent bien les avancées réalisées dans la prise en compte des notions d'échelles de temps et d'espace dans des domaines, tels que la biodiversité et l'agronomie (au sens large de ce terme). Si cette démarche est constitutive des recherches sur le climat, ainsi que de celles effectuées dans les secteurs scientifiques régis (schématiquement) par des lois de comportement, elle est relativement récente, mais nécessaire, dans des domaines naturalistes. En effet, les processus (biologiques, écologiques et sociaux, en particulier) en jeu dans l'étude de l'adaptation des territoires au changement climatique s'expriment à des niveaux d'organisation spécifiques. À chacun de ces niveaux correspondent des *grandeurs caractéristiques* (spatiales et temporelles) irréductibles. Les outils d'*intégration* (comme la modélisation, l'information spatialisée, la géographie, l'écologie...) organisent ainsi la description, cohérente et équilibrée, des différents processus, dans une analyse systémique des situations concrètes. Les études environnementales sont souvent menées dans un espace géographique donné, aux échelles locale, régionale, continentale ou planétaire. Il s'agit, dès



© John Isaac/STILL PICTURES-BIOSPHOTO

« Il y a, dans les pays les moins avancés, un dilemme apparent : il faut y accroître les capacités d'anticipation, améliorer les outils de la planification, alors que les autorités de ces pays sont aujourd'hui débordées par l'explosion urbaine, dépassées par les crises alimentaires et la malnutrition, bousculées par les crises sanitaires, le manque d'eau, le déficit de biens essentiels... » File de femmes devant un puits, en Ethiopie.

lors, de faire converger des modèles s'exprimant à des échelles soit inférieures (y compris à l'échelle moléculaire), soit supérieures (fût-ce à l'échelle planétaire), grâce à des méthodes d'agrégation et de désagrégation. Les processus spatiaux, qui mêlent des relations locales, de proximité, de voisinage et des interactions, plus macroscopiques, entre différents niveaux d'organisation, ne s'emboîtent pas non plus nécessairement facilement entre eux. Il faut alors faire appel à des approches multi-échelles.

Si cette intégration des échelles spatiales, qui est une caractéristique et un élément clé de la complexité des systèmes environnementaux, tend à devenir un classique des études environnementales dès lors que c'est d'action qu'il s'agit, la dimension temporelle, quant à elle, renvoie directement aux questions que pose l'adaptation au changement climatique. La thématique de la biodiversité, qui est encore souvent traitée sous l'angle de la disparition ou de la protection d'espèces emblématiques, s'approprie de plus en plus ces notions d'échelle pour en faire un point d'entrée principal en vue de la définition des questions de recherche. Le document stratégique 2009 de la Fondation de la recherche sur la biodiversité (une des contributions à la Stratégie Nationale de Recherche et d'Innovation) illustre bien ce positionnement. De la même façon, les avancées récentes enregistrées par certaines méthodes d'évaluation environnementale spatialisées sont un signe de l'appropriation et du développement de méthodes quantitatives

nécessaires au choix de solutions environnementalement acceptables, permettant d'assurer l'alimentation et d'autres besoins primordiaux de la population mondiale. Il est intéressant de noter que des méthodes qui étaient, traditionnellement, des méthodes d'ingénieur, le plus souvent réservées au monde de l'industrie (comme les analyses de cycle de vie), connaissent actuellement de nouveaux développements méthodologiques, parmi lesquels, notamment, la spatialisation des questions de gestion de systèmes environnementaux. La question de l'évaluation économique des services éco-systémiques et de la biodiversité (rapport Chevassus-au-Louis, avril 2009) entre, elle aussi, dans cette démarche générale d'évaluation quantitative, même si ce dernier exemple renvoie à des classifications « classiques » d'écosystèmes (forêts, espaces protégés, etc.)

*Yves Le Bars*

Les actions de terrain s'en trouvent donc modifiées : elles s'appuient de plus en plus sur une notion de viabilité, elle-même liée à celle de développement durable...

*Claudine Schmidt-Lainé*

Cette nouvelle posture d'évaluation « d'itinéraires » d'actions sur des systèmes environnementaux tenant compte des actions-réactions sur le climat traduit éga-

lement un changement de position de la recherche ; l'article de François Papy illustre bien ce point, qui renvoie à l'évolution de la problématique, depuis l'intensification de l'agriculture du début des années 50 jusqu'à l'« agriculture écologiquement intensive » (pour reprendre l'expression de Michel Griffon). La question était alors envisagée de façon mono-sectorielle et sur une échelle de temps liée aux rythmes des cultures. Il s'agissait d'une démarche de type « optimisation ». Les points de vue actuels, prenant en compte de façon déterminante l'aspect non stationnaire (multi-temporalité, cycle des cultures et évolution du climat), sont différents. La question n'est plus d'optimiser un rendement local, mais bien d'envisager le problème globalement, avec ses emboîtements spatiaux, locaux et régionaux, dans un contexte de durabilité, c'est-à-dire dans un cadre non pas d'optimisation, mais bien de « viabilité ». Dans *Événements climatiques extrêmes, réduire la vulnérabilité des systèmes écologiques et sociaux* (4), Henri Décamps et ses coauteurs rappellent que la notion de viabilité est une extension « dynamique » de la notion de résilience. La théorie de la viabilité (de Jean-Pierre Aubin) concerne l'étude des systèmes ouverts. Ces systèmes supposés autonomes, c'est-à-dire évoluant selon leurs propres lois, sont confrontés à leur environnement, qui leur impose des contraintes externes auxquelles ils doivent s'adapter. Ils évoluent en modifiant leur environnement, en consommant des ressources et en produisant des déchets, ce qui implique des contraintes de viabilité auxquelles le système doit constamment s'adapter, sous peine de disparaître en tant que tel. L'ensemble des états à partir desquels une évolution au moins satisfait un ensemble de contraintes correspond à un « noyau de viabilité ». Quant à la résilience (étudiée par l'écologue canadien Crawford Stanley (Buzz) Holling), elle peut être identifiée à l'intensité de la perturbation qu'une propriété du système peut supporter sans subir de changement(s) qualitatif(s).

Pour sortir de cet aspect théorique de la viabilité, on peut prendre l'exemple de l'étude des forêts méditerranéennes et de leur évolution face au changement climatique réalisée par Thomas Curt (5) : si le régime des incendies (leur fréquence et leur intensité) a peu varié ces dernières décennies, le changement climatique peut avoir un impact sur la mortalité des espèces végétales. En effet, un incendie de grande ampleur aura des conséquences d'autant plus importantes qu'il sera suivi de plusieurs années de sécheresse. C'est ce que l'on observe d'ores et déjà en France, dans le massif des Maures, très touché en 2003, où les chênes-lièges (essence pourtant bien adaptée au feu) se régénèrent difficilement. Les écosystèmes méditerranéens sont adaptés au feu depuis des millénaires. On peut parler, dans leur cas, d'auto-succession : les espèces qui recolonisent les surfaces détruites sont les mêmes que celles qui ont brûlé. Mais, si le changement climatique devait aussi entraîner des feux plus intenses et plus fréquents, cette faculté de résilience (capacité d'un système écologique à se reconstituer à l'identique) serait mise à mal.

*Yves Le Bars*

A propos des capacités d'adaptation des écosystèmes terrestres, j'ai en mémoire ce que les forestiers en charge des reboisements en France disaient : les dernières glaciations ont fortement réduit la diversité des essences forestières de montagne en Europe, alors qu'elles ont été mieux protégées en Amérique du Nord. La raison ? Les Rocheuses sont orientées Nord-Sud, permettant des replis dans des zones adaptées à chaque espèce, alors qu'en Europe, l'orientation Est-Ouest des Alpes n'a pas permis des replis analogues. D'où la prédilection des forestiers pour l'importation d'essences d'Amérique du Nord, pour leurs reboisements...

L'article de François Papy plaide, à juste titre, en faveur de pratiques d'utilisation des sols avec plus de biomasse, incluse non seulement dans les végétaux, mais aussi dans les sols eux-mêmes. Cette qualité des sols est un des meilleurs moyens d'adapter les agricultures au changement des conditions météorologiques. François Papy se situe là dans le grand mouvement de l'agriculture dite intégrée, qui privilégie les échanges internes, avec moins d'apports extérieurs : ainsi, l'association de l'élevage à la production de céréales permet (grâce à la production de fumier) de recycler l'azote et le carbone, conservant ainsi des sols d'une meilleure qualité agronomique, tout en réduisant les apports d'intrants...

### Les outils financiers

*Paul-Henri Bourrelier*

Un mot, d'abord, sur les mécanismes du développement propre, dont l'emploi pourrait mettre fin à la déforestation, à l'échelle planétaire... ?

*Yves le Bars*

Le protocole de Kyoto a autorisé les mécanismes de développement propre (MDP, ou *Clean development mechanisms*, CDM, en anglais), qui permettent de compenser des émissions de gaz à effet de serre dans un pays de l'annexe 1 par une réduction de ces émissions dans un pays du Sud. Constatons que c'est d'abord les pays émergents qui ont profité de ce mécanisme (que d'aucuns ont rebaptisé, non sans malice, *chinese development mechanism* !), par exemple, en rénovant des usines obsolètes. Pour autant, l'accès des habitants et des pays les plus pauvres à l'eau ou à l'électricité n'en a pas été plus rapide.

De nombreuses discussions ont porté sur la réduction des émissions liées à la dégradation des forêts et à la déforestation dans le monde (dites Ressources pour le Développement Durable – REDD). Là encore, si la motivation de la prévention des changements climatiques est légitime, des mécanismes financiers trop spécifiques sont inefficaces et peuvent même s'avérer injustes. Ainsi, au Brésil, tous les États de l'Amazonie n'ont pas la même attitude vis-à-vis du déboisement. L'État de Para est très atteint par la déforestation pour l'élevage



© Victor R. Caivano/AP/SIPA

« Ainsi, au Brésil, tous les Etats de l'Amazonie n'ont pas la même attitude vis-à-vis du déboisement. L'Etat de Para est très atteint par la déforestation pour l'élevage industriel, la culture du soja ainsi que par les luttes entre petits paysans et grands latifondiaires. » Déforestation dans l'Etat de Para (Brésil), près de la ville de Santarem.

industriel, la culture du soja ainsi que par les luttes entre petits paysans et grands latifondiaires. L'Etat d'Amapa a, par contre, refusé le déboisement ; il a clarifié la situation foncière de l'essentiel de son territoire, et il entend se doter d'outils efficaces d'action contre les déboisements sauvages et le commerce illégal des bois : lequel de ces deux Etats doit recevoir les financements liés au REDD, s'ils existent un jour ? Et quelles actions doit-on financer ?...

Enfin, les ONG soulignent que les mécanismes financiers, qui ont été définis dans le cadre des Nations Unies, sont actuellement bloqués, et qu'*a contrario*, de nombreux fonds multilatéraux (en particulier, de la Banque mondiale) ou bilatéraux se mettent en place, dans une relative confusion et avec une gouvernance qui fait peu de place aux pays en développement...

### Paul-Henri Bourrelier

Pour aider à rétablir l'équilibre dans le monde, adaptable mais inflexible, de la nature, faut-il utiliser des instruments financiers qui ont fait la preuve de leur potentialité à provoquer des crises systémiques extraordinairement déstabilisatrices et destructrices, s'ils sont mal maîtrisés ? Il y a tout de même un paradoxe étonnant (et, je crois, une inconsistance) à vouloir résoudre les émissions de gaz à effet de serre au moyen du marché. S'ils ne sont pas mieux régulés que ceux des autres produits, les marchés du carbone vont

ajouter des produits financiers et des spéculations supplémentaires sur les marchés boursiers, sans parler des détournements possibles... N'est-ce pas là jouer avec le feu ? A cet égard, une taxe est, tout de même, plus facile à contrôler... En tous les cas, il n'y a pas de solution miracle : une combinaison d'actions, incluant une forte dose de pédagogie, est indispensable.

Il en est de même pour les moyens financiers nécessaires à la réparation des dégâts environnementaux. On voit bien que l'assurance est un outil incontournable, mais on en perçoit aussi les limites, ainsi que la perversion à laquelle cet outil peut conduire : encore et toujours des produits titrisés et spéculatifs, avec, pour corser le tout, une évaluation de la vie humaine encore plus inégalitaire que tout ce que l'on a pu imaginer en matière de fixation des prix des marchandises... Combien faudra-t-il de désastres pour que l'on mette en place, à l'échelle mondiale, un ensemble de partenariats public-privé, sous l'égide des autorités publiques ?

Ce dilemme dans l'utilisation judicieuse d'une panoplie d'outils se retrouve dans le domaine de la gestion des biens collectifs, par exemple en matière d'amortissement des chocs de la raréfaction des combustibles fossiles (à échéance de quelques décennies) et dans le domaine de la gestion des biens communs, comme l'eau, les gènes, les écosystèmes, qui rendent des services multiples et néanmoins ignorés... Peut-on les évaluer, et en tenir compte, sans

entrer dans le piège moral que créerait une marchandisation omniprésente et dictatoriale ?

### *Claudine Schmidt-Lainé*

Le récent rapport du Centre d'analyse stratégique consacré à l'approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes (le rapport Chevassus-au-Louis, que nous avons déjà mentionné) répond à une demande de bilan des connaissances. L'objectif européen (et national) de porter un coup d'arrêt à la perte de biodiversité implique des actions de « compensation », lorsqu'une perte de biodiversité intervient, par exemple, à l'occasion d'un aménagement ou de l'installation d'une infrastructure, la compensation devant se faire en gain de biodiversité et non pas au moyen d'une transaction avec d'autres éléments de bien-être. La valeur monétaire attribuée à ces services éco-systémiques correspond donc bien au souhait d'établir un référentiel commun de comparaison entre services écologiques, mais en aucun cas à faire rentrer la biodiversité dans les éléments de confort banalisés. Un des messages majeurs de ce rapport est que la fixation d'une valeur n'implique pas l'ouverture d'un libre marché de la biodiversité. L'aspect juridique y est d'ailleurs abordé, pour souligner le fait que seule une partie de la biodiversité dispose d'un véritable statut, précisant les droits et obligations des opérateurs publics et privés (les ressources génétiques des espèces domestiques, les espèces protégées, les espaces remarquables...). De fait, la biodiversité ordinaire, qui est pourtant un élément clé des services éco-systémiques, n'a pas de vrai statut. L'idée d'un droit des biens spéciaux est évoquée comme piste de réflexion, et l'on note que cette réflexion doit passer « par une analyse des fondements éthiques ou philosophiques du statut de la nature et de la biodiversité dans nos sociétés postindustrielles ».

### Ethique scientifique

#### *Alain Grimfeld*

Pour les sciences de la vie et de la santé, la réflexion éthique en matière d'adaptation au changement climatique s'oriente dans trois directions : 1/ la prise en compte de la situation des pays pauvres et/ou en voie de développement, 2/ les aspects financiers notamment les budgets alloués à la recherche, 3/ enfin, l'application du principe de précaution.

La caractéristique première des populations des pays pauvres et/ou en voie de développement est leur vulnérabilité. Ce sont, à n'en pas douter, ces populations qui auraient le plus à souffrir des modifications de leur environnement liées aux changements climatiques, du fait d'un défaut, sinon d'un manque d'adaptabilité. L'adaptation de leur habitat, de leur alimentation, de leur accès aux soins, notamment en cas de pandémie, pâtirait d'un retard lié à l'insuffisance *a priori* inéluctable des moyens à mettre en œuvre. Si la dignité de la personne

appartenant à ces populations n'est évidemment pas remise en cause pour tout un chacun normalement soucieux d'éthique, en revanche leur dignité au regard des sociétés plus nanties, dans des situations où la solidarité internationale devrait jouer, peut être mise à mal. Dans cette éventualité, il est hautement souhaitable que les scientifiques élaborent d'ores et déjà, de manière pluri- et inter-disciplinaire, des modèles qui permettent de pallier les conséquences de cette « injustice environnementale » accentuée par le changement climatique. Il est non moins indispensable que les populations des pays nantis soient informées des dispositions à prendre, afin d'obtenir leur consentement et leur contribution solidaire, et d'éviter notamment ce que certains craignent, au premier chef : des flux migratoires de populations des pays pauvres vers les pays riches.

De ces considérations découlent les aspects financiers intéressants notamment la recherche dans les domaines de la santé et de l'environnement. Quels budgets allouer aux recherches « finalisées » concernant les conséquences prévisibles du changement climatique ? Deux volets composent cette réflexion : 1/ Quelle priorité accorde-t-on à cette thématique ? Autrement dit, en ce domaine, à quel niveau évalue-t-on le risque des dangers potentiels liés à ce changement ? 2/ Quelles sont, dès lors, les compétences à mobiliser, et à quel coût économiquement acceptable ? En ce domaine, chacun peut facilement percevoir que les enjeux éthiques sont tels qu'ils doivent pouvoir bénéficier d'une réflexion de dimension internationale entre institutions habilitées, tels que les comités nationaux d'éthique, et plus précisément de bioéthique. On comprend aisément que dans un tel contexte, les pays les plus pauvres soient ceux qui, lorsqu'ils n'en possèdent pas, demandent avec insistance la création de tels comités en leur sein.

Pour beaucoup de ces sujets, se pose la question de l'application du principe de précaution. En matière de santé, notamment humaine, d'après les résultats de la recherche actuellement publiés, entre ce que l'on peut affirmer et ce que l'on peut écarter quant aux conséquences sanitaires du changement climatique, la zone dite d'ambiguïté reste large. En la circonstance, il reviendra donc au politique de décider, en situation d'incertitude scientifique de la meilleure attitude à adopter pour concilier la demande et les besoins de la population, les moyens matériels disponibles et les ressources financières adaptées.

#### *Paul-Henri Bourrelrier*

Il est vrai que l'omniprésence des aléas est difficile à exposer pour ceux qui font profession de prédire l'avenir, et qu'elle est rebutante pour ceux qui sont les guides et les décideurs. Personne n'est indemne de tout préjugé idéologique. Les communautés, fussent-elles scientifiques, ont chacune leurs intérêts, et le seul reproche qu'on peut leur faire est de le nier ou de laisser entendre qu'avec un investissement supplémentaire dans la recherche, les incertitudes se dissiperont. En réalité, elles sont intrinsèques à tous les systèmes et les controverses sont un moyen de les

explorer, un moteur du progrès des connaissances, et, pour-quoi pas, de l'action.

### L'Intégration de l'homme dans la nature

*Paul-Henri Bourrelrier*

Revenons-en à la vulnérabilité des groupes ou des individus, aux inégalités au sein des sociétés. Il me semble que les objections initiales à l'adaptation au changement climatique et la préférence longtemps donnée à la réduction de l'effet de serre reposent sur une vision d'une gouvernance mondiale dominatrice et autoritaire, exercée par les sociétés techniquement avancées. Il est frappant d'observer que ce sont les pays qui ne font pas partie de ce monde technologique qui ont plaidé (et plaident) en faveur d'une orientation de l'effort international vers l'adaptation. Bien sûr, cette posture s'explique par leur désir d'obtenir, dans la négociation, une certaine part du bénéfice de l'effort global, mais je crois qu'il y a une autre raison bien plus profonde et permanente, touchant au rapport à la nature...

Celle-ci doit-elle être instrumentalisée ? Renoncera-t-on, enfin, aux visions manichéistes qui la présentent comme intrinsèquement bonne tant que l'homme en est absent, ou l'inverse ? L'homme a-t-il le droit de se protéger préférentiellement ? Comment doit-il composer avec la nature ? Sur ce sujet, Michel Juffé présente une analyse décisive, qui s'appuie sur les conceptions modernes de la science : le malentendu qu'il dénonce, ne le vivons-nous pas quotidiennement ?

*Yves Le Bars*

Lors de la préparation du Grenelle de l'Environnement en 2007, l'Association Française pour la Prévention des Catastrophes Naturelles (AFPCN) avait pris de nombreux contacts avec les membres des groupes de travail, afin de leur demander que la réduction des risques d'origine naturelle soient bien introduits dans les propositions, dans les nouvelles règles pour un habitat de qualité, dans l'évolution de l'agriculture ou encore dans l'aménagement du territoire... L'accueil a toujours été sympathique, mais rien de tout cela n'a subsisté dans les conclusions adoptées.

Pour expliquer cela, on peut formuler l'hypothèse que le mouvement social, bien qu'il porte le désir de protéger la nature, ne prend pas en compte les situations dans lesquelles la nature représente une menace !

Cette situation doit nous conduire à réfléchir à la juste position de l'homme vis-à-vis de la nature. Une position juste, c'est-à-dire qui ne soit pas entachée d'erreur (juste étant ici l'antonyme de faux) et qui ne soit pas injuste (juste étant ici synonyme d'équitable).

S'agit-il d'une nature bonne *a priori*, que l'homme, fondamentalement mauvais, agresse, entraînant la punition du Ciel ? D'un homme blanc, repu, qui veut des hélicoptères, à la fois, pour prendre des photos de la bonne nature, dans le Sud et pour se protéger de ses voisins du Sud ?

Ou bien, alors, s'agit-il d'un homme qui sait qu'il est une partie prenante de la biodiversité et un acteur influent, dans cette période particulière de la vie de notre planète, comme deux des articles de ce numéro nous invitent à l'être ? Un homme qui sait qu'il est une partie de l'humanité et qu'il occupe une des zones les plus prospères de la planète... Qui lutte contre l'enfermement des plus nantis dans leur sphère de prospérité...

C'est donc un enjeu de taille : placer l'homme dans un rapport juste à la nature, et l'homme développé dans un rapport juste au monde.

Tant qu'il y aura une urbanisation anarchique, associée à un exode rural de grande ampleur (les 2/3 des malnutris vivent dans les campagnes), tant qu'il y aura plus d'un milliard de travailleurs prêts à travailler pour moins de 2 dollars par jour, nous, dans les pays développés, nous ne pourrons pas connaître la tranquillité...

L'adaptation au changement climatique ne peut donc se résumer à quelques travaux de génie civil ou à une recherche agronomique plus intense, ni même à des subventions plus importantes à destination des pays les plus pauvres : c'est, au minimum, une révision en profondeur de nos modes de vie et c'est, plus probablement, un changement de posture de l'homme dans la nature, et de l'Occidental dans le monde. Ne faut-il pas, alors que les crises économiques, environnementales, alimentaires, de la pauvreté et des inégalités convergent, relire des philosophes, et au tout premier chef Hannah Arendt dans *La crise de la culture* ou *La condition de l'homme moderne* ? Dans ce dernier ouvrage, Hannah Arendt craint une tendance à l'inertie, la disparition progressive de toute action, qui, pour elle, est *la capacité d'initiative*, par nature supérieure à *l'œuvre* (qui laisse une trace, un morceau d'immortalité) et encore plus *au travail*, qui n'est que la façon de goûter la béatitude d'être vivant. L'adaptation, dans le contexte de ces crises convergentes, peut conduire nos sociétés à prendre leurs distances avec le type d'économie qui a dominé les soixante dernières années...

### Utopie et catastrophisme

*Paul-Henri Bourrelrier*

Des utopies comme celle du « jardin planétaire », que Thierry Gaudin a rappelée dans la séance initiale du colloque tenu en novembre 2008 à Paris, sous l'égide de la présidence de l'Union européenne, avec pour intitulé : « Des catastrophes du passé aux défis du changement climatique » (6) sont utiles. Mais n'y a-t-il pas là un profond malentendu ? Les écarts climatiques, les modifications désordonnées et destructrices de l'environnement sont le moteur nécessaire de la biodiversité. L'adaptation est une propriété universelle du vivant, tant au niveau des espèces qu'au niveau des écosystèmes. L'espèce humaine, comme les autres, cherche à se protéger et à se développer, et elle peut le faire à une échelle inégalée – au détriment des autres – en utilisant les moyens d'une puissance exceptionnelle,

qu'elle a acquise. Cependant, sa capacité spontanée, génétique, d'adaptation est elle aussi transformée par sa culture, par ses savoirs accumulés. Finalement, le mécanisme d'apprentissage par les accidents est à l'œuvre chez l'Homme comme chez toutes les autres espèces, plus encore au niveau des sociétés que des individus, la seule différence étant que ce mécanisme d'adaptation est, avant tout, culturel : c'est sa marque spécifique.

Partant de ce constat, on peut s'interroger sur le caractère non seulement inéluctable, mais même bénéfique des pressions de l'environnement et des soubresauts de celui-ci. Il serait fou, de la part de l'espèce humaine, d'oublier que ces changements planétaires sont des stimulants, qui font leur office dans le monde concret et imaginaire, lui posant des défis incessants et lui adressant des rappels à l'ordre. Le capitalisme, ce processus de destruction créative, était voué à l'emporter sur la planification marxiste. Mais comment le canaliser ? Il y a donc un chemin étroit à trouver, par tâtonnements, entre les tentatives illusives, et par là-même dangereuses, de bâillonner le monde, d'une part, et la passivité, d'autre part, qui conduit non moins sûrement au désastre. Chaque progrès, tant des connaissances que des technologies, apporte son surplus de risques de catastrophe, tant morales que matérielles : ainsi, c'est le darwinisme qui a été à l'origine des dérives de l'eugénisme, comme l'expose J.-C. Ameisen (7), et c'est la relativité qui a produit Hiroshima. Il en va de même du recours immodéré aux marchés qui attise des besoins artificiels et génère des bulles spéculatives. Ou encore de l'effet de la raréfaction du pétrole et de la croissance monstrueuse des rentes de situation partagées par les pays producteurs et consommateurs, qui deviendront des sources de guerres et d'inégalités si n'intervient pas un véritable bouleversement des modes de consommation de l'énergie. Comme pourrait également devenir un facteur de risque l'appropriation abusive de l'eau dans certaines zones où elle est rare (ou celle d'autres ressources naturelles considérées aujourd'hui comme des biens communs). Le signal du changement climatique peut être salvateur, à cet égard, comme il peut l'être en matière d'adaptation, nous obligeant à opérer un retour aux valeurs qui fondent notre humanité.

*Alain Grimfeld*

Les conséquences éventuelles ou prévisibles du changement climatique à l'échelle de la population posent la question de la redéfinition de la notion de progrès, ou de déve-

loppement, au plan scientifique et économique. Trop souvent encore, ces notions sont associées à celle de croissance, avec une connotation économique et/ou financière très forte. Avec Amartya SEN, et d'autres lauréats du Prix Nobel d'Économie depuis 1998, il est devenu indispensable, notamment dans le cadre des dispositions qui seront prises pour adapter l'évolution globale des nos sociétés au changement climatique, d'adjoindre aux notions de progrès et de développement celle d'accession au bien-être et d'épanouissement de l'individu, notamment dans les pays pauvres en voie de « développement ».

### Notes

\* Ingénieur général des Mines.

\*\* Président du Conseil consultatif national d'éthique pour les sciences de la vie et de la santé.

\*\*\* Président du GRET, association professionnelle de solidarité.

\*\*\*\* Directrice de recherche au CNRS, directrice scientifique du CEMA-GREF.

(1) Voir la « Synthèse des résultats des travaux du Groupe d'experts des pays les moins avancés, du Groupe consultatif d'experts des communications nationales des Parties non visées à l'annexe 1 de la Convention et du Groupe d'experts de transfert de technologies, concernant la planification et les pratiques en matière d'adaptation » FCCC/SBSTA/A/2007/10, du 20 septembre 2007. Pour les plans d'adaptation (NAPA en anglais) se reporter aux sites Internet de l'*United Nations Framework Convention on Climate Change* [UNFCCC] et de la Banque mondiale.

(2) Diamond, cité par M. Gillet, oppose, par exemple, au Groenland, lors du petit âge glaciaire, l'adaptabilité des Inuits à la rigidité culturelle et comportementale des Vikings.

(3) Sur les migrations, voir *Futuribles*, mai 2008, dossier : *Changement climatique : les risques géopolitiques* et Saskia Sassen : *La globalisation. Une sociologie*, Éditions Gallimard, Collection NRF Essais, mars 2009.

(4) Rapport de l'Académie des Sciences (à paraître).

(5) Thomas Curt est chercheur au Cemagref (Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement), où il est chargé de l'Unité de recherche « Écosystèmes méditerranéens et risques ».

(6) A consulter sur le site Internet de l'AFPCN [http://www.afpcn.org/IMG/pdf/Actes\\_PFUE2008\\_provisoire-2.pdf](http://www.afpcn.org/IMG/pdf/Actes_PFUE2008_provisoire-2.pdf)

(7) *Dans la lumière et les ombres. Darwin et le bouleversement du monde* de Jean-Claude Ameisen, Éditions Fayard/Seuil, deuxième édition, janvier 2009.

## In Memoriam : François ASCHER\*

### Relire (ou lire) François Ascher...

**François Ascher, qui était un de nos plus grands penseurs de l'urbain et de la société hypermoderne, vient de mourir. Pourquoi l'évoquer dans les Annales des Mines ?**

Par Marie-Josèphe CARRIEU-COSTA\*\*



François Ascher, le 4 octobre 2002.

© Didier Maillac/REA

Il avait récemment contribué aux Annales des Mines par un article publié dans la série *Réalités Industrielles*, sur le thème : « La ville et l'urbain comme lieux stratégiques de l'économie » (*RI février 2008*, « *Les nouvelles dynamiques urbaines dans le contexte d'une économie de la connaissance et de l'environnement* »).

Il était alors hospitalisé, suivait un traitement difficile, et était extrêmement fatigué, mais il avait immédiatement accepté, parce que c'était (selon ses propres termes) « l'occasion d'adresser, peut-être, un de ses derniers messages à tous ceux qui pèsent dans les décisions ».

Nous avons souhaité ici, avec le rédacteur en chef de la revue et compte tenu de cette situation particulière, rappeler la publication de cet article, sa bibliographie et un ou deux des éléments de ce message auquel il tenait tant, et dont il nous avait parlé. Nous avons aussi voulu souligner son parcours exemplaire en tant qu'universitaire et chercheur, en tant que passeur de savoirs et de réflexions, et en tant qu'homme porteur de projets, les trois étant également édifians et en parfaite synergie.

### Son témoignage pour les Annales des Mines

Nous avons assez longuement conversé et j'essaierai de résumer ici, en quelques mots, ce qu'il avait voulu transmettre, et que l'on trouvera développé de manière plus approfondie dans le numéro précité des Annales des Mines.

Les sociétés sont confrontées à des situations complexes, inédites, singulières, nourrissant elles-mêmes des incertitudes par rapport aux décisions, exigeant des ressources à solliciter. Un urbanisme « performant » doit pouvoir favoriser un « capitalisme cognitif » et de la « sérendipité », cette aptitude à saisir et rencontrer l'inattendu pour innover, créer.

Cela d'autant plus que les nouvelles technologies, en enfermant l'individu, redonnent aussi du goût à la rue, aux événements, aux espaces publics, à la ville – polycentrique – au contact avec l'autre, aux rencontres fortuites et, par là, fécondes.

Il s'agit, pour les urbanistes, de faire, avec la ville, des lieux attractifs pour toutes sortes de créatifs, qui se retrouvent et produisent, inventent, au-delà des infrastructures

traditionnellement dédiées (universités, équipements culturels).

L'environnement lui paraissait être *l'Engagement* par excellence, et il lui semblait inéluctable que l'économie de demain soit environnementale. Mais la façon d'aborder les enjeux sociaux dans ce contexte urbain en sera-t-elle pour autant bouleversée ?

### Sa personne

Il était un penseur de l'urbain qui avait assez de savoir et de confort intellectuel pour produire et apporter, dans les champs opérationnels comme dans la réflexion. Ses livres et ses publications, ses participations aux travaux de terrain en témoignent. Il faut relire « Métapolis » : il n'est pas une seule de ses pages, qui ne fasse surgir des questions, n'offre des propositions stimulantes, ne fasse réfléchir ou gamberger. Penseur, cela ne le gênait pas de s'impliquer dans le Grand Paris ou de prôner les liens nécessaires entre l'académique, l'expertise, l'action, en mêlant fructueusement les champs disciplinaires.

Professeur à l'Institut Français d'Urbanisme, ses innovations en matière d'enseignement, de diffusion, de débats sont multiples : Europan, le club ville-aménagement, l'Institut pour la ville en mouvement – autant de lieux de discussions et de projets constructifs, où peuvent s'affronter des points de vue d'anticipation, de relation à ce qu'il appelait « l'hyper-modernité » et que la ville pouvait intégrer, corriger, développer, dans des « métapoles » polycentriques, pour lesquelles des gouvernances nouvelles étaient à inventer.

La richesse de son parcours d'urbaniste, d'économiste et de sociologue lui permettait des éclairages enrichis, justes et originaux des problèmes, dont il parlait sans dogmatisme, mais avec engagement et conviction.

Il était militant d'une urbanisation qui stimule l'homme et la société vers des valeurs de progrès et de respect des environnements humains et sociaux.

Il excellait, certes, dans l'anticipation, l'analyse structurale et sociale et la prospective, mais aussi dans la simplicité et la générosité de ses rapports humains et dans son souci de partager : nous en voulons pour preuve ce témoignage qu'il a voulu nous laisser, à un moment si difficile de son existence.

Quand on le lit, on ressent toujours, derrière le chercheur, son attachement à la transformation de la société dans un monde urbain lui-même en mouvement, au profit de ceux qui l'habitent, le vivent et le font, un attachement qui nourrit ses réflexions et ses actions.

Beaucoup d'institutions et de journaux, spécialisés ou non, lui ont rendu et lui rendent hommage encore aujourd'hui, chacun dans des termes spécifiques. Tous ces hommages, comme celui-ci, d'ailleurs, sont partiels et bien pauvres, comparés à sa présence, si dense et si riche, parmi nous, dans bien des domaines et pour longtemps encore...

### Note

\* Grand prix de l'urbanisme 2009.

### Bibliographie sommaire

(en gras, les incontournables) :

- *Demain la ville ? Urbanisme et politique*, Éditions sociales, 1975 ;
- *Tourisme. Sociétés transnationales et identités culturelles*, Éditions de l'Unesco, 1984 ;
- *Les territoires du futur*. Datar/Éditions de l'Aube, 1993, (en collaboration) ;
- ***Métapolis ou l'avenir des villes***, Éditions Odile Jacob, 1995 ;
- *Le logement en questions*, Éditions de l'Aube, 1995 (direction) ;
- *Ville et développement. Le Territoire en quête de sens*. Éditions Textuel, 1998 (en collaboration) ;
- *La République contre la ville. Essai sur l'avenir de la France urbaine*, l'Aube, 1998 ;
- *Quand les transports publics deviennent l'affaire de la cité. Parlons en avec la RATP*, Aube, 1999 (en collaboration) ;
- ***La société hypermoderne. Ces événements nous dépassent, feignons d'en être les organisateurs***, l'Aube, 2001-2005 nouvelle édition ;
- ***Les nouveaux principes de l'urbanisme. La fin des villes n'est pas à l'ordre du jour***, l'Aube, 2001 – poche 2004 et 2008 ;
- *Modernité : la nouvelle carte du temps*, l'Aube/Datar, 2003 (codirection Francis Godard) ;
- *Les sens du mouvement. Modernité et mobilités*, Éditions Belin, 2005 (codirection S. Allemand et J. Lévy) ;
- *Le mangeur hypermoderne. Une figure de l'individu éclectique*, Éditions Odile Jacob, 2005 ;
- ***Examen clinique : Journal d'un hypermoderne***, Éditions de l'Aube, 2007 ;
- *La société évolue, la politique aussi*, Éditions Odile Jacob, 2007 ;
- *La rue est à nous... tous !*, Éditions au Diable Vauvert, 2007, codirigé par Mireille Apel-Muller ;
- *Les nouveaux compromis urbains : Lexique de la vie plurielle*, Éditions de l'Aube, 2008.
- *Effet de serre, changement climatique et capitalisme cleantech*, Esprit, février 2008.

# Le bilan énergétique de la France pour 2008

FAITS ET CHIFFRES POUR 2008

Du point de vue de l'énergie, l'année 2008 a été marquée par deux événements majeurs : l'envolée des prix du pétrole (au premier semestre), assimilable à un choc pétrolier et la crise économique, qui a commencé à frapper la France au cours du deuxième trimestre. Dans ce contexte perturbé, des évolutions durables semblent se dessiner, avec notamment la confirmation de la stabilisation de la consommation d'énergie et l'essor des énergies renouvelables. Il se pourrait aussi que les niveaux de prix atteints par l'énergie laissent des traces dans les comportements des ménages. Toutefois, une part importante des réductions de consommation est de manière évidente liée à la baisse de l'activité économique.

Par **Bernard NANOT\***

- Corrigée du climat, la consommation totale d'énergie, primaire ou finale, confirme sa stabilisation. Depuis 2002, elle n'augmente plus.
- Avec une faible croissance (+0,4 %) et une consommation d'énergie stable, l'intensité énergétique diminue (-0,5 %, pour l'énergie primaire), mais moins vite que précédemment.
- La production primaire totale d'énergies renouvelables (thermiques et électriques) atteint 19,0 Mtep, en progression de 12,7 %, un record historique de hausse, après celle, déjà sensible, de 2007 (5,2 %). Elle atteint un niveau jamais égalé. Cette évolution est due à l'accroissement conjugué de la production primaire électrique (+0,5 Mtep pour la production hydraulique, qui retrouve un niveau normal, et +0,14 Mtep pour la production éolienne) et de la production primaire thermique, qui augmente, pour sa part, principalement grâce aux agro-carburants (+1 Mtep) et au bois-énergie.
- La consommation finale d'électricité progresse de façon sensible (+2 % après correction climatique). Celle de

gaz naturel est stable. Celle de charbon est en net recul (-5,1 %). Et la consommation de pétrole baisse nettement (-1,9 %) dans tous les secteurs, y compris les transports, à l'exception toutefois du résidentiel-tertiaire où les réapprovisionnements ont repris, après avoir été suspendus par l'envolée des prix. Enfin, la consommation d'énergies renouvelables est en net progrès (+10,3 %).

- La consommation d'énergie des transports connaît une baisse exceptionnelle (-1,5 %), sous les effets conjugués de la hausse des prix des carburants (qui a freiné les déplacements des ménages) et de la crise économique (qui a fait s'effondrer le trafic poids lourds).

\* Sous-directeur de l'Observation de l'énergie et des matières premières (Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat).

AVERTISSEMENT : sauf mention contraire, les consommations d'énergie portent sur la France métropolitaine (c'est-à-dire hors DOM et hors TOM) et sont corrigées du climat. Sauf mention contraire, les chiffres sont arrêtés mi-avril 2009, mais la révision du PIB du 15 mai a été prise en compte.

- Le secteur résidentiel et tertiaire, au contraire, augmente nettement sa consommation corrigée du climat (+2,6 %), avec de forts réapprovisionnements pour le pétrole et une croissance vive de l'électricité.
- Conséquence de ces évolutions, les émissions de CO<sub>2</sub> dues à l'énergie baissent de 1,3 %. Elles ont diminué de 3,6 % en trois ans et elles seraient légèrement inférieures à celles de 1990 (référence à ne pas dépasser, selon le protocole de Kyoto). En 2008, ce sont les transports (-3,6 %) et l'industrie (-3 %) qui contribuent le plus à la baisse.
- Avec 58,7 milliards d'euros, la facture énergétique de la France s'envole en 2008. Elle s'accroît de plus de 13 milliards (+29,4 %). Elle dépasse ainsi le record établi en 1981, après le second choc pétrolier. Mais elle ne représente que 3 % du produit intérieur brut, contre 4,9 % en 1981.

## CONTEXTE ÉCONOMIQUE ET ÉNERGÉTIQUE

Du point de vue énergétique, l'année 2008 se caractérise surtout par une forte croissance des prix du pétrole jusqu'au mois de juillet, puis par une chute, soudaine et très importante, dans un contexte de croissance économique mondiale qui ralentit en début d'année, avant de s'effondrer.

### Contexte macro-économique mondial

Une situation de crise, d'abord limitée à la sphère financière et bancaire, se répand ensuite pour contaminer l'économie et toucher l'ensemble des pays du monde. La

crise bancaire touche d'abord Wall Street, puis elle s'étend à l'Europe, à l'Asie et aux pays émergents. Avec la chute du marché immobilier américain, les crédits hypothécaires (*subprimes*) ne sont plus remboursés, ces crédits à risque et à rendement élevés, qui avaient atteint des montants considérables et avaient été revendus à de nombreuses banques et à des investisseurs. Les pertes sont importantes pour les établissements financiers, qui restreignent le financement de l'économie. La crise s'installe d'abord aux Etats-Unis, puis elle s'étend à l'Europe et aux pays émergents. La croissance économique, encore forte en début d'année, ralentit très vite (le PIB de la zone euro recule dès le deuxième trimestre), les échanges internationaux chutent, le choc frappe l'Europe de l'Est et les pays en développement les moins dynamiques. Au quatrième trimestre, la crise financière et économique s'étend, brutalement, à l'ensemble des pays.

Sur l'ensemble de l'année 2008, la croissance moyenne du PIB est divisée par deux au niveau mondial (+2,2 %, après +4,1 % en 2007) et par trois pour l'OCDE (+0,9 %, après +2,7 %). La progression du commerce mondial chute, à +2,5 % en 2008, alors qu'elle s'élevait à +6,9 % en 2007 (cf. tableau I – La croissance s'effondre, le commerce mondial chute).

### Contexte macroéconomique français

En 2008, le produit intérieur brut (PIB) augmente de 0,4 % en volume, en net ralentissement, après +2,3 % en 2007. Avec les restrictions de crédits et la diminution des débouchés, notamment à l'international, l'investissement (FBCF) total freine nettement, à +0,6 %, après une hausse de 6,5 % en 2007 et les exportations ralentissent fortement (-0,2 %, après +2,6 %) (cf. tableau II).

	Moyenne 1996-2005	Evolution en volume (%)		
		2006	2007	2008
PIB total OCDE	2,7	3,1	2,7	0,9
Commerce mondial	7	9,5	6,9	2,5
PIB mondial	3,4	4,3	4,1	2,2

Source : Perspectives économiques de l'OCDE, mars 2009

Tableau I.

	croissance en volume t/t-1								n/n-1		
	2007				2008				2006	2007	2008
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4			
PIB	0,7	0,4	0,7	0,3	0,4	-0,3	0,1	-1,1	2,2	2,3	0,4
Consommation des ménages									2,2	2,3	1,1
FBCF									4,1	6,5	0,6
Exportations	0,1	1,0	1,2	-0,1	2,0	-2,7	-1,1	-2,4	4,8	2,6	-0,2

Source : Insee Comptes nationaux trimestriels, mai 2009

Tableau II.

L'agriculture et les branches non industrielles restent orientées à la hausse (respectivement +2,8 % et +1,2 % en 2008, après -1,5 % et +3,2 % en 2007), contrastant avec la décroissance des branches industrielles (-1,1 %, après +1,6 % en 2007) selon le chiffrage des Comptes nationaux trimestriels de l'Insee. L'activité des services aux entreprises progresse de 1,7 %, le commerce de +2,1 %, l'éducation-santé de +1,5 % et les transports de +0,3 %. Dans l'industrie, les biens d'équipement et l'énergie restent croissants, les IAA diminuent (-0,8 %), les biens intermédiaires sont en recul de 3,3 % et l'industrie automobile de 9,6 %.

La consommation des ménages décélère (+0,9 %, après +2,4 % en 2007). Elle est tirée par les dépenses en services (+2,0 %), alors que les dépenses en biens stagnent globalement (-0,1 %), la hausse des biens manufacturés étant compensée par la baisse des produits agricoles et agro-alimentaires. Les dépenses pour les produits énergétiques se stabilisent (+0,1 %), alors qu'elles avaient diminué en 2007 (-1,1 %), en partie du fait de la douceur du climat en 2007.

La population augmente de 0,6 %. La croissance du nombre de logements, qui influe directement sur la demande en énergie, reste forte en 2008 comme en 2007, avec +1,7 % (1) pour chacune de ces années.

### Des températures douces, mais nettement moins qu'en 2007

Les températures de l'année 2007 avaient été si douces que 2008 souffre de la comparaison. Pourtant l'indice de rigueur n'est que de 0,94, donc assez sensiblement inférieur à la moyenne de la période 1976-2005 (égal à 1, par construction). Mais celui de 2007 n'était que de 0,87. Même si l'année 2008 a été plus douce que la moyenne, il a donc fallu chauffer davantage qu'en 2007. Et pour peu qu'elles aient une fonction de chauffage, les consommations non corrigées du climat enregistrent naturellement une augmentation. Il en va de même pour les émissions de CO<sub>2</sub>.

L'analyse des évolutions doit également tenir compte du fait que l'année 2008 était une année bissextile. Avec 366

jours contre 365, il faut s'attendre, toutes choses égales par ailleurs, à une consommation plus importante de +0,3 %.

## PRIX DES ÉNERGIES : FLAMBÉE DES PRIX AVANT LA CRISE

### Produits pétroliers

Pour les cours pétroliers, l'année 2008 commence sur la lancée de la fin 2007. Le cours du Brent daté, principale référence utilisée dans les transactions, poursuit son ascension, qui l'a porté de 54 dollars le baril en janvier 2007 à 96 \$/bl fin décembre 2007. Face à une forte demande en provenance des pays émergents et de la Chine en particulier, l'offre a du mal à suivre. Le marché anticipe des difficultés d'approvisionnement accrues et, en juillet 2008, le cours atteint ainsi 145 \$/bl, en hausse de 50 % en dollars par rapport à décembre 2007.

Mais la conjoncture se retourne avec des signes de crise de plus en plus évidents. On anticipe, cette fois, une baisse de la demande et les cours s'effondrent. Ils plongent jusqu'à 36 \$/bl fin décembre, malgré les efforts des pays producteurs pour enrayer la baisse. Les annonces de l'Opep ne réussissent qu'à obtenir une reprise temporaire mi-septembre, puis une autre début janvier 2009, qui débouchera sur une stabilisation, entre 40 \$/bl et 50 \$/bl.

En moyenne mensuelle, le cours du Brent daté augmente ainsi de 45 % (en dollars) de janvier à juillet, puis s'effondre de 70 % de juillet à décembre. Exprimée en euros, la variation est moins forte, avec une moyenne de 62,5 €/bl en janvier, qui passe à 84,5 €/bl en juillet (+35 %), puis une chute à 29,9 €/bl en décembre (-65 %).

La moyenne annuelle s'établit finalement à 97 \$/bl (+38 %) et 65 €/bl (+24 %). La dépréciation du dollar en début d'année a donc considérablement atténué les effets de la hausse du pétrole sur les économies européennes. Néanmoins, la hausse du prix des importations pétrolières a été forte, puisque le prix moyen du brut effectivement importé, exprimé en euros, a augmenté de 28,5 %, tandis que celui des produits raffinés importés a progressé de 25,5 % (cf. tableau III ci-dessous et annexes, figures 1 et 2).

### Gaz naturel

Le coût CAF (2) du gaz naturel importé suit, en général, le mouvement du prix du pétrole, avec un retard d'environ

(1) Source : SOeS, Compte du logement, Premiers résultats 2007 et estimations 2008.

(2) Le prix du gaz importé est ici calculé comme le ratio « facture gazière, mesurée par les Douanes / quantités importées, déduits du bilan gazier du SOeS ». Ce ratio entre deux sources hétérogènes ne peut donner qu'un ordre de grandeur de l'évolution du prix.

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
en \$/bl	19,3	17,0	28,5	24,4	25,0	28,9	38,3	54,6	65,1	72,5	97,0
en €/bl	19,6	13,0	31,0	27,3	26,5	25,6	30,8	43,9	51,9	52,5	65,0

Tableau III – Cotations moyennes annuelles du Brent daté exprimées en dollars et en euros.

ron 5 à 6 mois, du fait de l'indexation des contrats de long terme. En conséquence, il répercute en 2008 la montée des cours pétroliers de la fin 2007 et du premier semestre 2008. Il connaît donc une forte hausse (environ +35 % en euros constants), qui s'inscrit dans une tendance à l'augmentation (doublement depuis 2000 en euros constants) où la stabilité de 2007 fait figure de pause. Ce n'est qu'au cours de 2009 que le prix devrait s'orienter à la baisse, suite à la chute des cours pétroliers de l'été 2008.

### Charbon

Moins médiatique que le pétrole, le charbon connaît lui aussi une flambée des prix qui dure depuis 2003 et qui s'est fortement accentuée en 2008. En moyenne sur l'année, le prix spot du charbon vapeur affichait 149 \$/t sur le marché d'Anvers-Rotterdam-Amsterdam, soit un bond de +72 % sur un an, après +36 % en 2007. Mesurée en euros, cette hausse est un peu atténuée (+61 % à 101 €/t CAF, après +24 % en 2007). L'année 2008 a été contrastée : après une ascension rapide, avec un record historique en juillet (220 \$/t), le prix entame depuis octobre une chute jusqu'à 82 \$ la tonne en décembre, soit une perte de 138 \$ en cinq mois (-63 %) (cf. annexes, figure 3).

La flambée des prix s'explique principalement par une forte demande. En effet, entre 2002 et 2007, la consommation de charbon affichait une évolution annuelle moyenne d'environ +6 % (3), soit environ trois fois la croissance du gaz et deux fois celle du pétrole. D'une part, le charbon est une énergie dont les réserves prouvées sont très importantes, bien plus que celles du pétrole. D'autre part – et surtout –, il fait l'objet d'une forte demande chinoise pour satisfaire une économie galopante, très dépendante du charbon.

Face à une telle demande, la chaîne logistique charbonnière s'avère sous-dimensionnée, avec des capacités portuaires insuffisantes et de mauvaises conditions d'acheminement du charbon entre les mines et les ports. Après une détente provisoire sur les prix en 2005, les cours ont retrouvé un niveau élevé en 2006 (64 \$/t en moyenne) et 2007 (87 \$/t), puis ils se sont emballés en 2008 (149 \$/t). La pénurie de navires a été un facteur déterminant dans la hausse du prix du fret, qui a encore enregistré des records historiques début juin 2008. En juillet

2008, la tonne de charbon livrée sur le marché ARA dépassait la barre des 220 \$. Mais, à partir de l'automne, et au même titre que les autres matières premières, sous l'effet de la crise économique, les prix décrochent de façon vertigineuse. Le prix CAF tombe, en décembre, à 82 \$/t. Cette tendance se poursuivra durant le premier trimestre 2009, avec, en mars, un prix moyen de moins de 60 \$ la tonne (environ 46 €/t).

### Électricité

Le prix de l'électricité exportée a fortement augmenté en 2008, avec un prix moyen (4) de 6,2 c€/kWh, contre 3,7 c€/kWh en 2007 et 4,6 c€/kWh en 2006. Cette forte hausse du prix fait bien plus que compenser la baisse des quantités exportées.

### Les prix à la consommation

Les prix, pour le consommateur, ont évidemment subi les conséquences de la flambée des cours internationaux. Les prix de l'énergie ont augmenté de 10,8 %, contribuant à nouveau de façon non négligeable à l'augmentation générale des prix. La hausse a porté essentiellement sur les produits pétroliers (+14,8 %) et tout particulièrement sur le fioul (+29 %) et le gaz (+11 %), alors que l'électricité était peu affectée.

Ces hausses ont été concentrées sur le premier semestre, le maximum ayant été atteint en juillet. Le litre de carburant a perdu 40 centimes entre juillet et décembre (cf. tableau IV).

### UNE DEMANDE TOTALE EN ÉNERGIE PRIMAIRE STABILISÉE

La consommation totale d'énergie primaire, corrigée du climat, confirme sa stabilisation. Elle reste au même

(3) BP Statistical Review of World Energy, juin 2008.

(4) CAF : coût, assurance, fret – Source DGDDI/DSEE.

En %	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Produits pétroliers	-4,1	+4,7	+21,9	-5,6	-3,2	+3,2	+8,7	+15,4	+6,7	+1,5	+14,8
Électricité	-2,2	-4,5	-2,1	-0,5	+0,8	+1,2	+1,4	-	+0,6	+1,4	+1,4
Gaz	+1,8	-5,4	+8,1	+15,4	-0,3	+2,9	-2,7	+7,9	+15,9	+2,9	+11,0
Ensemble des énergies	<b>-2,9</b>	<b>+0,5</b>	<b>+12,8</b>	<b>-1,8</b>	<b>-1,7</b>	<b>+2,5</b>	<b>+5,0</b>	<b>+10,1</b>	<b>+6,4</b>	<b>+1,7</b>	<b>+10,8</b>
Ensemble des biens et services	+0,7	+0,6	+1,7	+1,6	+1,9	+2,1	+2,2	+1,7	+1,7	+1,5	+2,8

Source : Insee (Indice des prix à la consommation)

Tableau IV – Evolution des prix moyens annuels à la consommation (en % par rapport à l'année précédente).

	1973	1990	2002	2006	2007	2008	Variation en % par an			
							08/07	08/02	02/90	90/73
Réelle	182,4	224,6	265,7	272,5	269,0	271,5	0,9	0,4	1,4	1,2
Corrigée du climat	179,7	228,3	271,7	274,5	273,7	273,6	0,0	0,1	1,5	1,4
dont										
- transformation énergie	35,1	75,2	96,1	99,3	97,9	98,4	0,5	0,4	2,1	4,6
- dont finale énergétique	133,6	140,7	160,5	159,7	159,7	160,0	0,2	-0,1	1,1	0,3
- dont non énergétique	10,9	12,4	15,1	15,5	16,1	15,3	-5,2	0,1	1,6	0,8

Tableau V – Consommation d'énergie primaire (en Mtep).

	1973	1990	2002	2006	2007	2008	Variation en % par an			
							08/07	08/02	02/90	90/73
Total production primaire	43,5	111,8	136,0	137,5	135,3	137,1	1,4	0,1	1,6	5,7
Electricité primaire	8,0	86,8	119,6	122,8	120,5	121,0	0,4	0,2	2,7	15,1
- Nucléaire	3,8	81,7	113,8	117,3	114,6	114,5	-0,1	0,1	2,8	19,7
- Hydraulique, éolien, photovoltaïque	4,1	5,5	5,7	5,5	5,9	6,4	9,6	1,9	1,1	1,1
ENRt et déchets	9,8	11,4	12,2	12,1	12,7	14,2	12,1	2,5	0,6	0,9
Pétrole	2,2	3,5	1,6	1,3	1,1	1,1	0,0	-6,9	-6,2	2,6
Gaz naturel	6,3	2,5	1,4	1,1	0,9	0,8	-11,0	-9,1	-4,5	-5,3
Charbon	17,3	7,7	1,2	0,2	0,2	0,1	-35,3	32,4	14,7	-4,6
Taux d'indépendance énergétique (en %)	23,9	49,7	51,0	50,4	50,3	50,5	0,4	-0,1	0,2	4,4

Tableau VI – Production d'énergie primaire (en Mtep).

niveau qu'en 2007, un peu en retrait par rapport aux années 2004-2006. Avec 273,6 Mtep, elle est à peine à 0,2 % au-dessus du niveau de 2002. Depuis les chocs pétroliers, en 1973-1975 et 1979-1982, c'est la première fois que la consommation primaire connaît une période aussi longue sans croissance. Elle progressait de 4 Mtep par an, en moyenne, pendant les années 90, puis de 2 Mtep seulement en 2001 et 2002 et depuis, malgré un sursaut en 2004, elle est stable.

En climat réel, la consommation primaire a cependant augmenté de 0,9 % par rapport à 2007, année exceptionnellement douce (cf. tableau V et annexes, figure 4). L'énergie utilisée pour transformer et distribuer l'énergie, dont la plus grande partie sert à produire de l'électricité dans les centrales thermiques et nucléaires, a légèrement progressé (+0,5 %). Elle aussi s'est stabilisée depuis 2002, après une période de forte croissance pendant la montée en charge du parc nucléaire.

La consommation énergétique finale, celle des consommateurs finals, ne progresse que de 0,2 %, à 160 Mtep. Elle est un peu plus faible que celle de 2002.

Les usages non énergétiques (gaz naturel pour la fabrication d'engrais, naphtha pour les plastiques, etc.) ont, eux, nettement diminué en 2008 (-5,2 %), victimes d'une crise qui a commencé dès le premier semestre avec l'envolée des cours du brut, puis s'est prolongée du fait de la baisse des commandes liée à la crise économique. Cette évolution a notamment abouti à la décision de Total de réduire ses « surcapacités durables » en restructurant des unités à Gonfreville et Carling.

## L'APPROVISIONNEMENT : PRODUCTION, ÉCHANGES EXTERIEURS ET INDEPENDANCE ÉNERGÉTIQUE

La production nationale d'énergie primaire, qui avait fléchi en 2007, se redresse, à 137 Mtep, retrouvant son niveau de 2004-2006. Ce rétablissement provient essentiellement des énergies renouvelables : les énergies thermiques et déchets progressent de 1,5 Mtep, dont +0,9 Mtep pour les agro-carburants ; l'hydraulique, après plusieurs années peu favorables, retrouve un niveau à peu près normal et progresse de 0,5 Mtep ; et le développement de l'éolien se poursuit (+0,14 Mtep). A l'inverse, le nucléaire est resté stable, 3 Mtep en-dessous de son niveau de 2005-2006. Les productions fossiles (gaz, pétrole, produits de récupération du charbon) diminuent légèrement, avec un apport marginal (1,4 % de la production nationale) (cf. tableau VI et annexes, figure 5).

La production d'énergies fossiles ne représente plus que 2 Mtep, soit l'équivalent de cinq jours de consommation (1,4 %). A 138 Mtep, le solde importateur d'énergie augmente à nouveau légèrement après deux années de baisse. Cette augmentation, due essentiellement à une moindre douceur des températures, impacte lourdement la facture extérieure, à un moment où les prix sont très élevés (cf. annexes, figure 6).

Néanmoins, grâce en particulier à l'augmentation des énergies renouvelables, le taux d'indépendance énergétique, calculé comme le ratio de la production nationale

	1973	1990	2002	2006	en Mtep		Variation en % par an			
					2007	2008	08/07	08/02	02/90	90/73
<b>Importations</b>	<b>159,7</b>	<b>138,2</b>	<b>162,0</b>	<b>173,4</b>	<b>165,4</b>	<b>171,6</b>	<b>3,7%</b>	<b>1,0%</b>	<b>1,3%</b>	<b>-0,8%</b>
dont charbon	10,4	12,9	12,2	13,7	12,6	14,2	12,7%	2,5%	-0,5%	1,3%
pétrole brut	134,9	73,3	80,0	82,0	81,2	83,2	2,6%	0,7%	0,7%	-3,5%
prod. pétroliers raffinés	6,3	26,8	32,1	36,9	32,8	33,1	0,9%	0,5%	1,5%	8,9%
gaz	7,6	24,5	37,3	40,0	37,7	39,9	5,8%	1,1%	3,6%	7,1%
<b>Exportations</b>	<b>-14,8</b>	<b>-20,0</b>	<b>-27,2</b>	<b>-33,0</b>	<b>-31,2</b>	<b>-33,7</b>	<b>7,7%</b>	<b>3,6%</b>	<b>2,6%</b>	<b>1,8%</b>
dont prod. pétroliers raffinés	-12,9	-14,5	-19,2	-25,5	-24,0	-26,7	11,5%	5,7%	2,3%	0,7%
électricité	-0,7	-4,5	-6,9	-6,2	-5,8	-5,1	-13,1%	-5,2%	3,7%	12,0%
<b>Solde importateur</b>	<b>144,8</b>	<b>118,2</b>	<b>134,8</b>	<b>140,4</b>	<b>134,2</b>	<b>138,0</b>	<b>2,8%</b>	<b>0,4%</b>	<b>1,1%</b>	<b>-1,2%</b>

Source : SOeS

Tableau VII – Echanges extérieurs.

primaire / la consommation primaire non corrigée du climat, est quasi-stable, à 50,5 % (+0,1 point) (cf. tableau VII).

### CHARBON : BAISSÉ DE LA DEMANDE

L'extraction de charbon s'est arrêtée définitivement en France en avril 2004, avec la fermeture du dernier puits du bassin minier lorrain. En 2008, les produits de récupération continuent d'être exploités, grâce à la valorisation des terrils du Nord-Pas-de-Calais et des schlamms, dans la Lorraine. Ces produits font l'objet d'une utilisation dans les centrales thermiques de la SNET. En 2008, leurs livraisons, pour le compte des centrales, ont atteint 112 ktep, soit une baisse d'environ 35 % par rapport à 2007.

Après une forte baisse des stocks en 2007 (1,3 Mt), l'année 2008 connaît un important mouvement de stockage : +2,3 Mt pour l'ensemble des produits charbonniers, portant le niveau des stocks à 7,5 Mt. Ce mouvement touche principalement le charbon vapeur destiné aux centrales électriques, dont l'autonomie, au rythme actuel de la consommation, atteint sept mois et demi en 2008, soit environ trois mois de plus qu'en 2007.

Les importations de combustibles minéraux solides (CMS) s'élèvent à 22,8 millions de tonnes (Mt), soit une forte progression (d'environ 13 % par rapport à 2007). La houille, principal produit importé, avec une part de marché d'environ 93 %, totalise 21,3 Mt (principalement du charbon vapeur, destiné à la production d'électricité), soit une hausse de 12,3 %. Mesurées en million de tonnes équivalent pétrole (Mtep), les importations de CMS s'élevaient en 2008 à 14,2 Mtep, contre 12,6 Mtep un an auparavant, soit un bond de +12,7 %. Tous produits confondus, l'Australie (26 %) est le premier fournisseur de la France, suivie des États-Unis, dont la part double, passant de 9 % à 18 %, de l'Afrique du Sud (15 %) et de la Colombie (9 %).

### PÉTROLE : HAUSSE DES IMPORTATIONS DE BRUT ET DES EXPORTATIONS DE PRODUITS RAFFINÉS

La production de pétrole brut en France en 2008 stagne à 1 million de tonnes, elle diminue dans le bassin de Paris et augmente en Aquitaine ; elle représente 1 % des besoins nationaux. La production de produits raffinés progresse.

Les quantités de **pétrole brut** importées augmentent à nouveau : après plusieurs baisses successives (-1 % en 2007, -2,6 % en 2006, -1,1 % en 2005) et malgré la forte hausse des prix, les quantités de brut importées augmentent de 2,6 %, à 83,2 millions de tonnes. En fait, depuis 1999, les importations de pétrole brut restent assez stables, fluctuant entre 80 et 86 millions de tonnes.

Les grands équilibres se maintiennent, avec des approvisionnements qui continuent à se répartir presque à égalité entre quatre zones : les pays de l'ex-URSS (29 %), l'Afrique (29 %), le Moyen-Orient (22 %) et la Mer du Nord (20 %).

Le déclin des gisements de la Mer du Nord se poursuit, et les importations d'Iran se réduisent sensiblement. Les flux venant de l'ex-URSS sont globalement stables, mais avec une part plus grande pour la Russie et un recul pour le Kazakhstan et l'Azerbaïdjan. Ce sont surtout les pétroles africains qui progressent, avec une reprise du Nigeria et des augmentations sensibles en provenance de Libye et d'Algérie (cf. tableau VIII).

Les exportations de **produits raffinés** (5) progressent de 12 % en quantité, alors que les importations restent au même niveau qu'en 2007 et que la production augmente de 1,9 % à 78,9 Mtep. Le décalage entre le marché et les possibilités du raffinage s'aggrave : les raffineries françaises produisent trop de produits légers (essence et naphtha) pour notre marché et elles doivent exporter des excédents de plus en plus importants, au fur et à mesure

(5) Données estimées principalement à partir de celles des Douanes.

	en million de tonnes						
	1995	2000	2005	2006	2007	2008p	Part en %
Moyen-Orient	34,8	31,6	22,4	22,7	20,5	18,4	22,1
Afrique du Nord	5,1	6,3	10,2	7,9	8,1	11,2	13,4
Afrique (autre)	8,3	7,6	8,9	9,5	10,0	13,1	15,7
Mer du Nord (6)	23,2	31,9	22,2	20,3	17,7	16,4	19,7
Ex-URSS	6,3	8,0	19,6	20,0	23,8	23,8	28,6
Autres	0,4	0,3	0,9	1,5	0,9	0,4	0,4
Total	78,0	85,6	84,2	82,0	81,2	83,2	100,0
dont OPEP	42,0	39,9	34,0	34,2	28,7	31,9	38,4
OPEP hors Irak	42,0	32,6	32,5	30,7	25,8	28,0	34,8
Principaux pays fournisseurs							
Norvège	13,6	21,1	16,1	13,4	12,5	12,7	15,2
Russie	6,1	5,0	9,6	9,8	10,6	11,8	14,2
Kazakhstan	-	2,2	8,6	8,1	9,4	9,2	11,0
Arabie Saoudite	20,4	15,2	10,3	8,7	6,9	7,5	9,0
Libye	1,7	2,4	4,5	4,2	5,2	6,8	8,2
Angola	0,7	1,9	4,2	3,2	4,9	5,7	6,8
Iran	10,5	5,2	6,9	6,7	6,6	4,5	5,4
Nigeria	5,7	4,8	2,8	4,0	2,2	4,4	5,3
Algérie	2,6	3,5	5,4	3,5	2,1	3,7	4,5
Royaume-Uni	9,3	9,9	4,4	6,5	4,8	3,1	3,7
Azerbaïdjan	-	0,6	1,4	2,2	3,8	2,9	3,5
Irak	-	7,2	1,4	3,5	3,0	2,9	3,5

p : provisoire  
Source : SOeS  
Le pétrole est ici classé en fonction du pays où il a été extrait.

Tableau VIII – Importations de pétrole brut par origine.

que notre consommation d'essence diminue. Les tendances à la baisse de la consommation d'essence qui apparaissent aux États-Unis menacent notre premier débouché (un tiers des exportations). Inversement, les raffineries ne produisent pas assez de gazole pour alimenter le marché national. Il faut donc en importer de plus en plus. Avec environ un tiers des importations directes, la Russie est notre premier fournisseur. De la même façon, les raffineries de France produisent du fioul lourd (FOL) destiné aux soutes maritimes internationales en excédent par rapport aux besoins nationaux et l'exportent, alors qu'il faut importer du fioul lourd peu riche en soufre.

Le solde global des importations pétrolières, en quantité, s'améliore légèrement :

- les importations de brut ont augmenté de 0,8 Mtep (+1 %),
- les importations de produits raffinés sont stables (-0,2 %),
- les exportations de produits raffinés ont augmenté de 2,8 Mtep (+11 %),
- globalement, le solde importateur s'est donc réduit d'environ 2 Mtep (-2,3 %).

Les stocks de pétrole brut sont stables en 2008, alors qu'ils avaient légèrement diminué en 2007 (-0,4 Mt) ; ceux de produits raffinés baissent en 2008, comme en 2007 (-0,2 Mt après -0,7 Mt). Les mouvements sont de faible ampleur.

(6) Royaume-Uni, Pays-Bas, Norvège et Danemark.

Au total, l'approvisionnement de la France, constitué de la production nationale et des importations nettes des exportations, augmente de 2 %.

## GAZ NATUREL

La production nationale continue de baisser (-11,4 %) et n'est plus que de 10,5 TWh, soit 2 % des ressources.

Les stocks de fin d'année, qui avaient progressé en 2005 (+7,3 TWh) et en 2006 (+11,7 TWh), puis diminué de -5,6 TWh en 2007 sont restés stables en 2008. A la fin de l'hiver 2007-2008, les stocks utiles étaient à un niveau exceptionnellement haut, de 51,7 TWh contre 45,5 TWh en avril 2007 et 31,8 TWh en avril 2006.

Les importations ont progressé de 5,8 % (après -5,6 % en 2007) à 518,2 TWh, elles retrouvent un niveau équivalent à celui de 2006.

Le solde net des entrées-sorties de gaz naturel en France passe de 479,6 TWh en 2007 à 504,0 TWh en 2008. Il ne retrouve pas tout à fait le niveau de 2006, qui était de 510 TWh.

Le portefeuille des importations s'est peu modifié en 2008 par rapport à 2007 :

- les importations en gaz naturel liquéfié (GNL) représentent un quart des entrées brutes ;
- les importations par des contrats de long terme ont globalement augmenté (de 2,8 %) : les importations en provenance de Russie, qui avaient beaucoup baissé en 2007, progressent de près de 14 %, mais ne retrouvent pas leur

	TWh			% par rapport au total des entrées brutes		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008
Total des entrées brutes (transit inclus)	598,3	574,1	592,0	100,00	100,00	100,00
Total des sorties (transit inclus)	88,3	94,4	88,0	14,75	16,45	14,87
Total des entrées nettes (transit et exportations exclus)	510,0	479,7	504,0	85,25	83,55	85,13
Contrats de long terme	480,4	452,2	465,0	80,3	78,8	78,5
<i>Russie</i>	80,9	66,1	75,2	13,5	11,5	12,7
<i>Norvège</i>	147,0	153,2	164,0	24,6	26,7	27,7
<i>Pays-Bas</i>	96,2	90,2	92,9	16,1	15,7	15,7
<i>Algérie</i>	81,7	86,8	84,2	13,6	15,1	14,2
<i>Égypte</i>	25,2	12,8	11,2	4,2	2,2	1,9
<i>Nigeria</i>	5,8	5,4	4,6	1,0	0,9	0,8
<i>Qatar</i>	0,0	3,2	4,4	0,0	0,6	0,7
Swap*	41,6	29,6	22,2	7,0	5,2	3,8
Autres et indéterminés	1,9	5,0	6,2	0,3	0,9	1,0
Contrats de court terme	29,7	27,4	39,0	5,0	4,8	6,6
<b>GNL</b>	<b>154,3</b>	<b>144,8</b>	<b>149,7</b>	<b>25,8</b>	<b>25,2</b>	<b>25,3</b>

\* essentiellement : arrivée de gaz du Nigeria pour le compte de l'Italie, à laquelle est restitué, par GDF, du gaz ne transitant pas par la France.  
Source : SOeS

Tableau IX – Approvisionnements en 2006, 2007 et 2008.

niveau de 2006 ; les importations en provenance de Norvège progressent de 7 %, elles représentent près du tiers des importations nettes totales ; les importations en provenance des Pays-Bas et d'Algérie connaissent des variations plus modestes. Les nouvelles provenances (Égypte, Nigeria, Qatar) restent des volumes faibles qui n'ont pas beaucoup varié entre 2007 et 2008 ;

- les contrats de court terme ont été un peu plus sollicités en 2008 : ils représentent 7,7 % des entrées nettes de gaz naturel en 2008, contre 5,7 % environ en 2007 et en 2006 (près de 8 % en 2005) (cf. tableau IX).

### Électricité : hausse de la production renouvelable, baisse des exportations

La production totale brute d'électricité comprend la production primaire (nucléaire, hydraulique, éolienne, photovoltaïque) et la production thermique classique. La production primaire brute s'établit à 514 TWh en 2008, après 508 TWh en 2007, revenant ainsi quasiment au même niveau qu'en 2006. Elle est assurée à 85,5 % par le nucléaire, à 13,4 % par l'hydraulique et à 1,1 % par l'éolien et le photovoltaïque. La hausse de 1,2 % enregistrée en 2008, soit +6,3 TWh, fait suite à une baisse de même ampleur en 2007 (-1,3 %).

En 2006, pour la première fois depuis 1998, la **production nucléaire** brute s'était inscrite en baisse (-0,3 %, à 450,2 TWh). En 2007, la baisse s'était amplifiée pour s'établir à -2,3 %. En 2008, un nouveau recul, modéré, est enregistré, avec -0,1 %, soit une baisse de 0,3 TWh par rapport à 2007 ; avec 439,5 TWh, la production nucléaire s'établit ainsi à un niveau inférieur de 12 TWh à son maximum atteint en 2005 (451,5 TWh). En

termes de production nette, c'est-à-dire hors consommations des auxiliaires, la production nucléaire s'élève à 418,3 TWh. Les évolutions récentes de la production nucléaire sont à rapprocher de celle de la disponibilité du parc nucléaire, dont la progression, régulière, s'est interrompue depuis deux ans. Le coefficient de disponibilité nucléaire (7) 2008 s'établit ainsi à 79,2 %, un point en dessous de celui de 2007, après 83,6 % en 2006. La quasi-stabilité de la production nucléaire en 2008, en dépit du recul d'un point du coefficient de disponibilité, a donc été acquise grâce à la hausse équivalente du coefficient d'utilisation (à 95,2 %) (cf. tableaux X et XI).

En 2008, la **production hydraulique** brute progresse de 7,6 %, pour s'établir à 68,9 TWh. Cette hausse poursuit la reprise amorcée en 2006 (+8,7 % en 2006, +3,4 % en 2007). Le niveau de production hydraulique s'établit ainsi en 2008 à un niveau supérieur de 12 TWh au point bas de 2005. Il se situe toutefois encore 9,5 TWh en dessous de celui de l'année 2001, où l'hydraulique avait été la plus abondante. On calcule un « indice de productivité hydraulique », qui mesure la production hydraulique par rapport à une référence sur longue période pour chaque barrage existant. En 2008, cet indice retrouve le niveau normal de 1, alors qu'en 2005, il était tombé au niveau historiquement bas de 0,69.

La **production d'origine éolienne** en métropole atteint 5,7 TWh en 2008, après 4,1 TWh en 2007, 2,2 TWh en 2006 et 1 TWh en 2005. En trois ans, la production d'électricité d'origine éolienne a ainsi été multipliée par six. Sa progression commence à être perceptible dans le total de la ressource et elle devrait se poursuivre : les puis-

(7) Ce coefficient exprime l'aptitude du parc à fournir de l'énergie, qu'elle soit ou non appelée par le réseau électrique. Les périodes d'indisponibilité comprennent les arrêts programmés, pour entretien ou renouvellement des combustibles, et les arrêts non programmés (incidents).

En TWh	1973	1980	1990	2000	2006	2007	2008	en % par an	
								08/07	08/90
Thermique classique	119,5	126,0	48,2	53,1	60,2	62,0	60,4	-2,7	1,3
Nucléaire	14,8	61,3	313,7	415,2	450,2	439,7	439,5	-0,1	1,9
Hydraulique, éolien, photovoltaïque	48,1	70,7	58,3	72,5	64,1	68,2	74,7	9,6	1,4
<b>Total</b>	<b>182,4</b>	<b>258,0</b>	<b>420,1</b>	<b>540,8</b>	<b>574,6</b>	<b>569,9</b>	<b>574,5</b>	<b>0,8</b>	<b>1,8</b>
Dont électricité primaire	62,9	132	372	487,7	514,3	507,9	514,2	1,2	1,8

Source : SOeS

Tableau X – Production totale brute d'électricité en TWh.

En %	1973	1980	1990	2000	2006	2007	2008
Thermique classique	65,5	48,9	11,5	9,8	10,5	10,9	10,5
Nucléaire	8,1	23,7	74,7	76,8	78,4	77,2	76,5
Hydraulique, éolien, photovoltaïque	26,4	27,4	13,9	13,4	11,2	12,0	13,0
<b>Total</b>	<b>100,0</b>						
Dont électricité primaire	34,5	51,1	88,6	90,2	89,5	89,2	89,5

Source : SOeS

Tableau XI – Structure de la production totale brute d'électricité en %.

sances raccordées au réseau ont augmenté de 37 % au cours de l'année 2008.

En volume, le **photovoltaïque** a un apport (36 GWh en métropole) beaucoup plus limité que l'éolien, de l'ordre de 100 fois plus faible. Mais sa croissance est spectaculaire, avec le raccordement des premières installations importantes. Les puissances raccordées ont été multipliées par 3,5 au cours de l'année 2008 (cf. annexes, figure 7).

A la production primaire s'ajoute la production d'électricité obtenue par transformation d'une autre énergie.

Après le très haut niveau de production enregistré en 2005 (66,7 TWh, un niveau jamais atteint depuis 1983), la **production thermique classique** brute s'était inscrite en 2006 en retrait de 9,7 %, avant de progresser de 3,0 % en 2007. En 2008, elle perd à nouveau 2,7 %, à 60,4 TWh. Le thermique classique constituant le terme de bouclage, la baisse enregistrée en 2008 a été rendue possible, malgré la croissance de la demande, l'effritement du nucléaire et le recul du solde des échanges physiques (-8,7 TWh), par la plus grande disponibilité de l'hydraulique (+4,8 TWh) et, dans une moindre mesure, la hausse de la production éolienne (+1,7 TWh). L'électricité produite à partir d'énergies renouvelables thermiques (bois, résidus de bois, part renouvelable des déchets urbains solides, biogaz) croît de 5 % par rapport à 2007, à 3,9 TWh.

Au total, la **production d'électricité d'origine renouvelable**, quelle qu'en soit l'origine, croît de 11,4 %, à 74,0 TWh. Sur l'accroissement de 7,6 TWh, l'hydraulique (hors pompages) contribue pour 76 %, l'éolien pour 22 %, et les trois filières de biomasse (biogaz, bois-énergie et déchets urbains renouvelables) pour 2 %.

La part de l'électricité d'origine renouvelable dans la consommation intérieure brute d'électricité (8) (métropole uniquement), calculée selon la méthodologie définie par la directive européenne 2001/77, gagne 1,1 point, à 14,1 %. Cette augmentation s'explique par une hausse

de la production d'électricité renouvelable nettement supérieure à celle de la consommation électrique totale. Si, pour éliminer les effets météorologiques, on retient pour la production hydraulique la notion de productible (basée sur la capacité moyenne des barrages existants) et en prenant pour hypothèse que le productible de 2008 est le même qu'en 2007, cette part gagne 0,2 point, à 14,2 % (cf. annexes, figure 8).

Après un pic exceptionnel à 77 TWh en 2002, le **solde des échanges extérieurs** physiques (9) d'électricité s'est contracté de façon quasi continue de 2003 à 2007, s'établissant à 56,7 TWh en 2007. L'année 2008 enregistre un nouveau recul, le solde physique s'établissant à 48 TWh, soit 29 TWh de moins qu'en 2002. Il faut remonter à 1990 pour retrouver un solde inférieur (46 TWh). Cette évolution résulte d'une baisse de 8,8 TWh des exportations, alors que les importations sont quasiment stables à 10,7 TWh. Hormis 2007, il faut remonter à l'année 1981 pour observer un niveau d'importations supérieur (10,9 TWh). Les importations physiques d'électricité représentent ainsi 2,2 % de l'énergie appelée en 2008, comme en 2007, après 1,8 % en 2006 et 1,7 % en 2005. Inversement, les 58,7 TWh d'exportations physiques sont très en retrait par rapport aux niveaux prévalant depuis le début des années 2000 : il faut remonter au début des années 1990, pour retrouver un niveau d'exportations physiques inférieur (58,5 TWh en 1992). En 2008, les exportations physiques d'électricité représentent ainsi 10,7 % de la production totale nette française

(8) La consommation intérieure brute est égale à la production totale brute diminuée du solde exportateur.

(9) Dans ce bilan, les flux utilisés pour déterminer les importations et les exportations d'électricité concernent les flux **physiques** et non les flux contractuels. Ils sont la somme des flux transitant sur les lignes RTE (lignes d'interconnexion – référencées par l'UCTE – et autres lignes transfrontalières – non référencées par l'UCTE), des flux transitant sur les autres réseaux et des compensations au titre des droits d'eau.

d'électricité, après 12,4 % en 2007, le maximum ayant été atteint en 2002, avec 15,1 %.

Avec 110,3 %, le taux d'indépendance énergétique relatif à l'électricité (ratio de la production primaire aux disponibilités) recule de 2,3 points, poursuivant sa tendance à la baisse quasi continue depuis le pic à 118,1 % enregistré en 2002 (cf. annexes, figure 9).

### Énergies renouvelables et déchets : forte augmentation

La diversité des formes d'énergies regroupées sous cette appellation conduit à distinguer trois agrégats d'énergies considérées comme primaires, et qui font tous trois l'objet d'un suivi important :

- ENRt : énergies renouvelables d'origine thermique, c'est-à-dire bois-énergie (bois et sous-produits du bois), résidus de récolte, solaire thermique, géothermie, pompes à chaleur, déchets urbains renouvelables, biogaz, agro-carburants.
- ENRé : énergies renouvelables électriques, c'est-à-dire électricité hydraulique hors pompes, éolienne et photovoltaïque.
- ENRt et déchets : énergies renouvelables d'origine thermique et déchets urbains non renouvelables valorisés sous forme d'énergie (cet agrégat fait l'objet d'une colonne spécifique dans le bilan de l'énergie) (cf. annexes, figure 10).

La production primaire de l'agrégat « ENRt et déchets » s'élève à 14,2 Mtep, en progression de 12,1 %, après +4,5 % en 2007 et +0,3 % en 2006. En retranchant la partie non renouvelable des déchets valorisés (1,2 Mtep), on obtient la production de l'agrégat ENRt, qui s'élève à 13,0 Mtep (en hausse de 13,1 %).

La production primaire des seules ENRt enregistre une forte hausse en raison, d'une part, de la montée en puissance des agro-carburants et, d'autre part, d'une utilisation plus importante de bois de feu par les ménages, liée à un hiver 2007-2008 moins clément que l'hiver précédent. Elle est constituée de formes d'énergies très diverses, valorisées principalement en chaleur : le bois-énergie reste prédominant, avec 8,7 Mtep, mais il progresse peu et sa part dans l'ensemble des énergies renouvelables (thermiques et électriques) perd près de 3 points, à 46 %. Il est suivi désormais par les agro-carburants, avec 2,1 Mtep, soit 11 %, puis par les déchets urbains solides (1,2 Mtep soit 6 %). Viennent ensuite les pompes à chaleur, avec 0,5 Mtep, le biogaz (0,3 Mtep) et l'ensemble géothermie, résidus de récolte et solaire thermique, qui totalise à peine 0,3 Mtep.

Les principales évolutions sont les suivantes en 2008 :

- croissance à nouveau assez modérée du solaire thermique : avec près de 240 000 m<sup>2</sup>, les surfaces installées affichent une croissance de 17 %, comparable à celle de 2007 mais nettement inférieure aux années précédentes. Pour la seconde année consécutive, la progression dans le secteur collectif-tertiaire (+32 %) est sensiblement supérieure à celle du secteur résidentiel. Au

total, le parc en activité fin 2008 est évalué à 1 160 000 m<sup>2</sup> ;

- léger redémarrage de la géothermie profonde, avec la mise en service de deux nouvelles opérations en Île-de-France (Orly et Sucy-en-Brie) ;
- développement toujours soutenu des pompes à chaleur (PAC), avec l'installation de 85 000 pompes à chaleur supplémentaires en 2008 (hors PAC air/air) dans le résidentiel. Comme en 2007, leur développement se confirme dans l'habitat existant (en relève de chaudières), profitant notamment aux PAC aérodynamiques. Fin 2008, le parc est estimé à plus de 350 000 unités ;
- légère progression tendancielle des déchets urbains (dont 50 % de renouvelables), tant en quantités incinérées qu'en valorisation électrique et thermique, en lien avec l'ouverture de trois nouvelles unités en 2008 et après la remise en service des installations fermées temporairement, pour travaux de mise aux normes ;
- montée en puissance de la filière biogaz dans ses diverses composantes (gaz de décharge, stations d'épuration urbaines, méthanisation de résidus agricoles, industriels ou ménagers), avec la mise en œuvre de nombreux projets dont certains sont arrivés à terme en 2008. En conséquence, la valorisation électrique continue à croître à un rythme relativement soutenu, tandis que la valorisation thermique amorce sa reprise ;
- hausse sensible de la consommation de bois-énergie à climat réel (mais très faible hausse en données corrigées du climat), résultant d'une forte utilisation du bois de chauffage dans le résidentiel/tertiaire, liée à un climat moins doux, ainsi que d'une petite hausse dans l'industrie. On notera le redressement des ventes d'appareils de chauffage au bois (470 000 appareils auraient été vendus en 2008, contre 435 000, l'an dernier), ainsi que la poursuite des opérations engagées dans le cadre du programme bois-énergie 2007-2010 de l'Ademe concernant les chaufferies collectives/tertiaires (394 opérations engagées en 2008, pour une puissance de 221 MW) et les chaufferies industrielles (56 opérations engagées, pour une puissance de 46 MW).
- nouveau bond des agro-carburants incorporés : l'octroi d'agrément supplémentaires pour 2008 (2 488 kilotonnes pour les EMHV, 717 kt pour l'éthanol et 225 kt pour l'ETBE) et l'entrée en production de nouvelles capacités ont contribué à la mise sur le marché national de quantités supplémentaires très importantes d'agro-carburants : à ce jour, seules les quantités d'agro-carburants agréées mises sur le marché national (en provenance de France ou des autres pays de l'UE) faisant l'objet d'une défiscalisation sont connues avec certitude. Celles-ci s'élèvent à près de 2 675 milliers de tonnes, correspondant à 2 324 ktep, contre 1 342 ktep en 2007, soit une hausse de près de 75 % des quantités agréées produites, dans ce cadre, par rapport à l'an dernier. Ces fortes progressions concernent chacune des deux filières. Dans l'attente du chiffre définitif élaboré par les Douanes et compte tenu des informations qualitatives disponibles, le SOeS a considéré, en lien avec la DGEC, que, comme en 2007, le taux d'incorporation d'agro-carburants fixé pour

	2006	2007	2008
Bois-énergie	8 362	8 280	8 697
Hydraulique	4 873	5 039	5 533
Agrocarburants	700	1 164	2 076
Déchets urbains renouvelables	1 130	1 168	1 197
Eolien	188	349	491
Pompes à chaleur	286	348	460
Biogaz	241	256	279
Résidus récolte	140	148	145
Géothermie	114	109	114
Solaire thermique	28	35	44
Solaire photovoltaïque	1	1	3
Total	16 063	16 897	19 039

Source : SOeS

Tableau XII – Production d'énergie primaire par filière renouvelable (en ktep).

2008 (soit 5,75 % en équivalent énergétique, contre 3,5 % en 2007) dans les quantités d'essence et de gazole mises en vente était respecté pour chacune des deux filières. Les agro-carburants introduisent des importations d'énergies renouvelables, auparavant négligeables, qui s'élèvent en 2008 à 0,4 Mtep, essentiellement en provenance d'Europe.

En ajoutant au total des énergies renouvelables thermiques la production d'électricité hydraulique (hors pompes), éolienne et photovoltaïque, on obtient la production primaire d'énergies renouvelables (thermiques et électriques, soit « ENR<sub>t</sub> et ENR<sub>é</sub> »), qui atteint 19,0 Mtep, en progression de +12,7 % : un record historique de hausse, après celle déjà sensible de 2007 (+5,2 %). Elle efface ainsi le lent déclin des années 1990 et atteint un niveau jamais égalé. La hausse constatée en 2008 provient de l'accroissement conjugué de la production primaire électrique (forte progression de la production hydraulique + accroissement de la production éolienne) et de la production primaire thermique, qui augmente pour sa part principalement grâce aux agro-carburants et au bois-énergie. Le tableau XII retrace l'évolution des productions primaires de chaque filière renouvelable sur les trois dernières années et le graphique permet de situer le poids de chacune d'entre elles en 2008 (cf. tableau XII et annexes, figure 11).

## LA TRANSFORMATION ET L'ACHEMINEMENT D'ÉNERGIE

Entre l'énergie primaire et le consommateur final, il y a l'activité de la branche énergie, qui intervient pour livrer à l'utilisateur l'énergie sous la forme correspondant à sa demande. Cela inclut le raffinage du pétrole, la cokéfaction du charbon, l'activité des centrales thermiques qui utilisent l'énergie primaire classique (gaz, charbon, pétrole), renouvelable ou nucléaire pour la transformer en

électricité. Cela inclut aussi le transport et la distribution de l'énergie jusqu'à l'utilisateur final. Ces opérations indispensables comportent fatalement des consommations intermédiaires et des pertes, proportionnelles à l'activité. Les pertes de loin les plus importantes en volume sont celles du nucléaire, puisque l'on considère que l'énergie restituée sous forme d'électricité est égale à un tiers de l'énergie totale dégagée par la réaction. Le reste est de la chaleur, par exemple celle qui produit le panache de vapeur d'eau au-dessus des centrales. Cette convention (internationale) explique le très gros écart constaté entre l'électricité primaire d'origine nucléaire et l'électricité finale d'origine nucléaire.

Les centrales thermiques classiques ont également des pertes de rendement, du même ordre, mais qui, en France, représentent des volumes beaucoup moins importants.

De son côté, l'activité du raffinage augmente en 2008, traitant 84,3 Mt de pétrole brut (contre 82,7 Mt, l'année précédente). La marge de raffinage, après un très haut niveau en 2005 (35 €/t en moyenne annuelle), puis une baisse, à 26 €/t en 2006, s'est reconstituée en 2007 et 2008, à 31 €/t puis 39 €/t. Les grands arrêts techniques normaux ont été du même ordre qu'en 2006. Le taux d'utilisation de la capacité de distillation atmosphérique augmente à 88,2 % en 2008, après 86,4 % en 2007 et 87 % en 2005 (10).

## CONSOMMATION D'ÉNERGIE

Corrigée du climat, la consommation totale d'énergie primaire stagne, pour la quatrième année consécutive, avec 273,6 Mtep.

L'agrégat constitué des énergies renouvelables thermiques et des déchets valorisés accentue encore sa progression à +8,8 %, le gaz progresse très légèrement (+0,3 %), le pétrole régresse de 1,6 %, et le charbon de 6,3 %. L'électricité primaire (11) se rétablit quelque peu (+0,8 %), du seul fait des renouvelables (cf. tableaux XIII, XIV et annexes, figure 12).

Alors que la tendance de la décennie 1990 était à une hausse de +1,5 % par an, en moyenne, la consommation d'énergie primaire est restée stable depuis maintenant cinq ou six ans. Ce résultat, acquis sous des conjonctures économiques diverses, semble augurer d'une nouvelle ère de notre consommation énergétique.

La structure du « mix » énergétique primaire de la France n'évolue guère : 43 % d'électricité primaire, 32,5 % de pétrole, 15 % de gaz, 5,4 % de renouvelables thermiques et déchets, et 4 % de charbon.

(10) Source DGEC.

(11) La consommation d'électricité primaire est calculée comme la somme des productions d'électricité nucléaire, hydraulique, éolienne et photovoltaïque, diminuée du solde exportateur des échanges d'électricité, le tout étant corrigé du climat.

	1973	1990	2002	2006	2007	2008	Variation en % par an			
							08/07	08/02	02/90	90/73
Electricité primaire (*)	7,7	83,2	113,5	117,6	116,2	117,1	0,8	0,5	2,6	15,0
Pétrole	121,5	88,3	93,3	91,6	90,4	88,9	-1,6	-0,8	0,5	-1,9
Gaz	13,2	26,3	40,2	40,4	40,6	40,7	0,3	0,2	3,6	4,1
ENR thermiques et déchets	9,4	11,4	11,8	12,4	13,7	14,9	8,8	3,9	0,3	1,1
Charbon	27,8	19,2	12,8	12,4	12,9	12,1	-6,3	-1,0	-3,3	-2,2
Total	179,7	228,3	271,7	274,5	273,7	273,6	0,0	0,1	1,5	1,4

(\*) Nucléaire, hydraulique, éolien et photovoltaïque

Tableau XIII – Consommation d'énergie primaire (corrigée du climat) par forme d'énergie (en Mtep).

	1973	1990	2002	2006	2007	2008
Electricité primaire (*)	4,3	36,4	41,8	42,8	42,4	42,8
Pétrole	67,6	38,7	34,3	33,4	33,0	32,5
Gaz	7,4	11,5	14,8	14,7	14,8	14,9
ENR thermiques et déchets	5,2	5,0	4,4	4,5	5,0	5,4
Charbon	15,5	8,4	4,7	4,5	4,7	4,4
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

(\*) Nucléaire, hydraulique, éolien et photovoltaïque  
Source : SOEs

Tableau XIV – Structure de la consommation d'énergie primaire (corrigée du climat) en %.

La consommation finale, énergétique et non énergétique (engrais, plastiques, goudrons, etc), corrigée du climat, est stable à 175 Mtep (-0,3 % par rapport à 2007). Elle ne progresse plus depuis 2001, alors qu'elle s'accroissait de +1,3 % par an depuis 1990.

La tendance est la même pour les seuls usages énergétiques, avec 160 Mtep. Les énergies renouvelables continuent leur envol, dépassant les +10 % pour la deuxième année consécutive. L'électricité progresse de 2 %. Le gaz est stable (+0,4 %), tandis que le pétrole (-1,9 %) et surtout le charbon (-5,1 %) reculent sensiblement (cf. tableaux XV et XVI).

### Charbon : baisse de -6 %, pour un minimum historique

Les combustibles minéraux solides sont utilisés aujourd'hui à 43 % dans des centrales et à 37 % dans la sidérurgie. Dans ces deux secteurs, la baisse de consommation est forte.

En données corrigées du climat, la consommation totale de charbon s'établit à 12,1 Mtep en 2008, après 12,9 Mtep en 2007, soit un retrait de 6,3 % (-6 % en données réelles). Le niveau atteint en 2008 est le plus bas connu pour seulement 4,4 % de la consommation totale d'énergie primaire. A la tendance à la baisse enregistrée depuis longtemps sont venus s'ajouter, en 2008, deux facteurs conjoncturels : un moindre recours aux centrales électriques, en particulier celles à charbon, et l'effondrement de la production sidérurgique en fin d'année.

Dans le secteur de l'énergie, la demande des centrales à charbon (y compris les centrales industrielles) totalise

5,2 Mtep en 2008 et retrouve un niveau comparable à celui de 2006, de 8,5 % inférieur à celui de 2007, mais qui reste supérieur au minimum historique de 2001 (4,7 Mtep). Cette baisse significative a été acquise essentiellement au cours du second semestre. La production d'électricité à base de charbon a perdu près de 2 TWh, pour s'établir à un peu plus de 21 TWh. Elle se replie davantage que la moyenne de l'électricité thermique classique.

S'agissant de la consommation finale, avec 6,5 Mtep en 2008, elle a marqué une baisse de 5,1 %, après avoir été en légère progression de 0,9 %, en 2007. Son évolution est étroitement liée à celle de la demande de la sidérurgie. Le secteur a vu sa production d'acier brut chuter de 7,1 %, pour un total de 17,9 Mt (il faut remonter à 1996 pour trouver un tonnage inférieur), contre 19,3 Mt en 2007. Cette régression touche plus particulièrement la filière à oxygène (-9,7 %), dont la part de marché perd 1,6 point, à moins de 60 %. La chute de l'activité se répercute naturellement sur les besoins en charbon du secteur : -5,9 % pour l'ensemble des produits charbonniers (houille et coke), après -3,2 % en 2007, pour un total de 4,5 Mtep, ce qui représente 69 % de la consommation finale de charbon. Pour les autres secteurs industriels, selon des estimations basées sur l'évolution de l'activité, la consommation aurait connu un retrait de -2,9 % en 2008 pour un total d'environ 1,65 Mtep. Cette baisse découle de la dégradation de la conjoncture des industries consommatrices de charbon, notamment l'agro-alimentaire et la chimie minérale. Enfin, dans le secteur résidentiel-tertiaire, et selon des estimations encore très provisoires, la demande semble avoir totalisé moins de 0,4 Mtep, avec une utilisation principalement tournée vers les réseaux de chaleur.

	1973	1990	2002	2006	2007	2008	Variation en % par an			
							08/07	08/02	02/90	90/73
Pétrole	85,4	70,8	74,3	71,0	69,8	68,4	-1,9	-1,4	0,4	-1,1
Electricité	13,0	25,9	33,9	37,0	37,3	38,0	2,0	1,9	2,3	4,2
Gaz	8,7	23,3	36,1	34,9	34,9	35,0	0,4	-0,5	3,7	6,0
Energies renouvelables	8,9	10,5	9,7	9,9	10,9	12,0	10,3	3,7	-0,7	1,0
Charbon	17,7	10,2	6,6	6,8	6,9	6,5	-5,1	-0,2	-3,6	-3,2
Total énergétique	133,6	140,7	160,5	159,7	159,7	160,0	0,2	-0,1	1,1	0,3

Source : SOeS

Tableau XV – Consommation énergétique finale (corrigée du climat) par forme d'énergie (en Mtep).

	1973	1990	2002	2006	2007	2008
Pétrole	63,9	50,3	46,3	44,5	43,7	42,8
Electricité	9,7	18,4	21,1	23,2	23,3	23,8
Gaz	6,5	16,6	22,5	21,9	21,8	21,9
Energies renouvelables	6,7	7,4	6,0	6,2	6,8	7,5
Charbon	13,3	7,3	4,1	4,3	4,3	4,1
Total énergétique	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Source : SOeS

Tableau XVI – Structure par énergie de la consommation énergétique finale (corrigée du climat) en %.

### Pétrole : baisse sensible

La consommation primaire (12) de pétrole et produits pétroliers, corrigée du climat, est de 89 Mtep. Elle diminue de 1,6 % en 2008 après -1,4 % en 2007. La tendance à la baisse observée depuis 2000 (-0,8 % par an moyenne pendant ces huit années) est ainsi fortement accentuée. Auparavant, elle progressait à un rythme d'environ 0,5 % par an, entre 1990 et 2002.

Toujours après correction du climat, la consommation totale de produits raffinés diminue de 2,4 % en 2008, à 83,4 Mtep, après -1,2 % en 2007. Hors usages non énergétiques et consommation de la branche énergie (centrales électriques classiques et consommation propre des raffineries), la consommation finale énergétique (13) est également en baisse sensible : -1,9 %, à 68 Mtep, après -1,8 % en 2007.

La **consommation non énergétique** (pétrochimie et lubrifiants essentiellement) diminue sensiblement (-5,3 % à 13,6 Mtep) après la hausse de 2007 (+3,8 %). Hormis l'année 2005, en léger recul, de -1 %, la tendance restait à la hausse depuis 2002, la pétrochimie continuant à bénéficier d'une demande internationale soutenue. Mais, dès le premier semestre, le secteur avait souffert des prix élevés du pétrole, qui avaient comprimé les marges, avant la baisse de la demande liée à la crise. Début janvier 2009, Total a annoncé une restructuration de ses activités pétrochimiques pour mieux faire face à la concurrence internationale, notamment celle des pays pétroliers, alors que la demande européenne est en baisse. En 2008, on enregistre des diminutions importantes

sur le naphta et le fioul pour la pétrochimie, alors que les ventes de bitumes poursuivent leur progression.

Les usages énergétiques du pétrole par l'**industrie** (sidérurgie incluse) continuent à diminuer à un rythme accéléré (-6,5 %, après -5,3 % en 2007). L'indice de la production industrielle (IPI) diminue de 3,2 % pour l'industrie manufacturière et même de 3,9 % pour les industries grandes consommatrices d'énergie : les activités industrielles utilisant beaucoup de produits pétroliers ont été dans l'ensemble moins dynamiques que la moyenne, d'où un effet de structure négatif sur la consommation. Parmi les secteurs grands consommateurs, la chimie, l'industrie automobile et la métallurgie sont particulièrement touchées, avec une diminution de leur activité de plus de 10 %. En outre, du fait des hausses de prix de ces dernières années et avec la mise en place de quotas d'émissions de gaz à effets de serre, les gros consommateurs ont cherché à privilégier au maximum des solutions alternatives aux produits pétroliers. Cette recherche a été pour eux d'autant plus nécessaire qu'ils se trouvent dans un secteur exposé à la concurrence des pays à bas coûts de main-d'œuvre : ils ne pouvaient alors pas répercuter facilement la hausse des prix (cf. annexes, figure 13).

La consommation du **résidentiel-tertiaire**, corrigée du climat, rebondit vivement, +5 % à 13,2 Mtep, après des baisses fortes et ininterrompues depuis 2002 (-7 % en 2007 et -6 % en 2006). Les consommateurs de fioul domestique ont dû s'approvisionner et reconstituer leurs stocks en 2008 après une année 2007 particulière : la douceur des températures au premier semestre, puis la hausse des prix en fin d'année avaient conduit les particuliers et les petits artisans et commerçants à différer autant qu'ils le pouvaient la reconstitution de leurs stocks. Le haut niveau des prix avait donc renforcé une chute impressionnante des achats (-11,5 %). Cette évo-

(12) Hors soutes maritimes internationales.

(13) Sans tenir compte des variations de stocks chez les consommateurs finals.

lution s'inverse en 2008, avec davantage de besoins de chauffage et un prix du fioul en forte baisse au 2<sup>ème</sup> semestre. Cette hausse en 2008 intervient dans une tendance de fond à la baisse : une baisse lente, en raison de l'inertie du parc installé, mais forte, dans la construction neuve, qui délaisse à peu près totalement le chauffage au fioul dans l'habitat individuel.

La consommation de l'**agriculture** augmente de 4,2 %, à 3,4 Mtep, après de nombreuses années de diminution (14). Comme dans le résidentiel, une reconstitution des stocks est intervenue dans ce secteur diffus où les substitutions sont difficiles et l'élasticité aux prix est faible. De plus, l'agriculture a connu en 2008 une croissance de 2,2 %. En revanche, la consommation de la pêche a encore diminué de 7,6 %. La chute est de 25 % depuis 2004.

La consommation des **transports**, qui représente 68 % de la consommation finale de produits pétroliers, chute fortement en 2008, de 3,6 % à 46,6 Mtep. Depuis 2002, elle avait cessé d'augmenter et oscillait autour de 48 Mtep. Après une baisse en 2005 (-1,4 %), elle était quasiment stable en 2006 et 2007 (+0,4 % puis +0,1 %). Elle est, pour l'essentiel, constituée des carburants routiers, qui, avec 40 Mt et 81 % du total, en représentent la grande masse. La chute en 2008 (-4,3 %, hors agro-carburants) provient, d'une part, de la hausse des prix du premier semestre, qui a pesé sur les consommations et, d'autre part, en fin d'année, de l'effondrement du trafic poids lourds lié à la dégradation de la conjoncture économique. Les comptes des transports évaluent l'évolution de la circulation à -1,5 % pour les voitures et -4,6 % pour les poids-lourds. Le surcroît d'incorporations d'agro-carburants (de 1,46 Mtep en 2007 à 2,41 Mtep en 2008), qui figurent au bilan des énergies renouvelables et non à celui des produits pétroliers, a participé également à la baisse de la consommation de carburants routiers.

Les carburéacteurs, qui pèsent 6,6 Mt, continuent à progresser en 2008 (+7,8 %, après +3,2 % l'année précédente), davantage que le trafic aérien, qui ralentit (+2 % en nombre de passagers dans les aéroports français, après +5 % l'année précédente) et diminue, en ce qui concerne le trafic intérieur au départ de Paris, concurrencé par le TGV.

Les soutes maritimes diminuent fortement (-12,6 % à 2,6 Mt).

La consommation de combustibles pétroliers pour la production d'électricité thermique augmente de 6 %, après avoir diminué de façon considérable en 2007 (-21 %).

### Gaz naturel : consommation stable, aux aléas climatiques près

La consommation totale de gaz (non corrigée du climat) s'établit en 2008 à 515 TWh, en progression de 3,6 %, après -2,9 % en 2007. Elle retrouve un peu plus que son niveau de 2006 (+0,7 %). Mais, une fois corrigée du cli-

mat, elle est stable (+0,3 %), après des évolutions de +0,5 % en 2007 et +0,8 % en 2006.

La consommation de gaz naturel est très sensible aux températures : l'année 2007 avait été particulièrement douce et l'on avait assisté à une baisse notable des consommations réelles ; le coefficient de rigueur de 2008 est voisin de celui de 2006, ce qui explique des consommations réelles de 2006 et 2008 comparables.

L'année 2008 peut se décomposer en deux périodes : les neuf premiers mois de l'année enregistrent une augmentation de la consommation corrigée du climat (+2,7 %), et le dernier trimestre voit apparaître les effets de la crise économique, avec une baisse de la consommation de 3,5 % par rapport au quatrième trimestre 2007 pour l'ensemble des ventes, dont 5,0 % pour les ventes aux gros clients (15).

La consommation finale énergétique de gaz naturel corrigée du climat reste stable depuis trois ans, à 460 TWh (cf. annexes, figure 14).

Dans le secteur résidentiel et tertiaire, la consommation de gaz naturel (16) (corrigée du climat), qui avait crû régulièrement entre 1990 et 2006 au rythme annuel moyen de 3,4 %, est restée quasi-stable entre 2006 et 2008. Non corrigée, elle augmente en 2008 de 5,4 % par rapport à 2007, mais retrouve un niveau identique à la consommation de 2006.

Le gaz naturel est l'énergie de chauffage central de 41 % des résidences principales (17) (61 % des appartements avec chauffage central collectif, 47 % des appartements ayant un chauffage central individuel, 35 % des maisons individuelles). Mais 29 % seulement des maisons neuves avec chauffage central sont chauffées au gaz en 2007, contre 43 % en 2004. Le gaz subit le contrecoup de l'engouement pour l'électricité et les pompes à chaleur dans les maisons individuelles. Dans les appartements équipés de chauffage central individuel, la proportion est de 31 % d'appartements neufs chauffés au gaz en 2007, contre 43 % en 2004. En période d'immobilier cher, le chauffage électrique bénéficie de son faible coût à l'installation. Seuls les appartements neufs avec chauffage central collectif continuent à privilégier le gaz (70 % en 2007 comme en 2004).

Dans le secteur tertiaire, 45 % des surfaces utilisent le gaz pour se chauffer. Mais, comme dans le résidentiel, le gaz perd du terrain, au profit de l'électricité. Alors qu'en 2000, 55 % des surfaces neuves chauffées l'étaient au gaz, elles ne le sont plus qu'à 48 % en 2007.

La consommation de gaz dans le tertiaire, qui représente environ 30 % des consommations du secteur résidentiel-

(14) Les séries relatives à l'agriculture, au résidentiel-tertiaire et aux transports ont été révisées (voir explications en Annexe).

(15) Source GRTgaz qui exploite et commercialise le réseau de transport sur les 4/5<sup>e</sup> de la France (Sud Ouest exclu : il est géré par TIGF).

(16) Il s'agit des ventes, et non des facturations.

(17) Données calculées par le Ceren à partir, pour le parc, des enquêtes Logement de l'Insee et des statistiques de la construction neuve (SOeS), et des panels du Ceren, pour les consommations.

tertiaire, a progressé de 2,3 % entre 2006 et 2007. La baisse des consommations unitaires (par m<sup>2</sup> chauffé) atténue l'effet de l'accroissement des surfaces chauffées (+2,6 %). En 2008, la consommation du secteur tertiaire (en données corrigées) resterait quasi-stable.

La consommation de gaz dans l'industrie se stabilise, voire décroît, depuis 2003 ; elle aurait cependant augmenté en 2008 de 1 % à 1,5 % pour retrouver un niveau presque voisin de celui de 2006.

En 2007, les fournitures de gaz à la chimie (qui consomme 32 % du gaz de l'industrie) et à l'agro-alimentaire (19 %) sont en progression d'environ 10 % par rapport à 2006. Inversement, on note une baisse très forte (-30 %) des fournitures de gaz aux papetiers.

Les tendances pour 2008 ne sont pas faciles à mettre en évidence, car la consommation de gaz dans les secteurs industriels n'est pas forcément en relation avec la production industrielle : le gaz devrait se substituer aux autres énergies fossiles à cause de son avantage en contenu carbone, mais son prix, très élevé en 2008, ralentit cette substitution.

La consommation en gaz naturel de la sidérurgie est surtout le fait des laminaires. Stabilisée depuis 2004 à 8 TWh environ, elle avait fortement crû en 2007 (à 8,5 TWh) et revient à 8 TWh en 2008.

La **production d'électricité** à partir du gaz naturel est restée stable en 2008 ; près de 34 TWh de gaz ont été consommés pour produire de l'électricité (chaleur non comprise).

En 2007, près de 20 TWh d'électricité ont été produits à partir du gaz naturel.

- Les centrales de cogénération produisent 17,6 TWh d'électricité et, en même temps, 27,9 TWh de chaleur ; une grande partie de la chaleur ainsi produite est revendue, le plus souvent au secteur résidentiel et tertiaire sous forme de chauffage urbain, le reste (près de 3 TWh) étant utilisé dans les complexes industriels où sont installées les centrales de cogénération.

- Les centrales thermiques classiques produisent seulement 2,2 TWh d'électricité à partir du gaz naturel. Un trentaine de petites centrales classiques n'utilisent que du gaz naturel et produisent 0,2 TWh d'électricité. D'autres centrales utilisent du gaz naturel, soit comme combustible annexe, par exemple dans de grosses centrales au charbon, comme Emile Huchet en Lorraine, soit comme combustible alternatif, par exemple DK6 à Dunkerque où la centrale à cycle combiné fonctionne avec du gaz de haut fourneaux et du gaz naturel ; ces centrales classiques mixtes ont produit au total 11,2 TWh d'électricité en 2007, mais seulement 2,6 TWh sont dus au gaz naturel. La production dans des centrales de cogénération devrait se stabiliser. Mais les centrales à cycle combiné au gaz vont se développer très rapidement. La centrale DK6 de Dunkerque est en service depuis 2008. La nouvelle centrale Emile Huchet en Lorraine devrait être mise en service prochainement puisqu'elle est alimentée depuis décembre 2008. Les centrales lorraines de Pont-sur-Sambre et Blénod-lès-Pont-à-Mousson ainsi que celle de Martigues (PACA) devraient démarrer en 2009.

La consommation en gaz des **raffineries** augmente régulièrement depuis plusieurs années, mais devrait atteindre un maximum en 2008 ou 2009. La consommation de gaz naturel, utilisé pour la production d'hydrogène à des fins de raffinage pétrolier (18), est estimée à 4,8 TWh en 2006, 6,7 TWh en 2007 et à 7,0 TWh en 2008.

Aujourd'hui, l'utilisation du gaz dans les transports reste faible (de l'ordre de 1,1 TWh en 2008), même si la plupart des constructeurs automobiles mondiaux s'y intéressent. Le gaz naturel est, à ce jour, le carburant alternatif non dérivé du diesel le plus répandu pour la propulsion des autobus. Au total, plus de 2 000 bus et 750 bennes à ordures ménagères fonctionnant au GNV sont déjà en circulation.

Après une chute de près de 10 % liée à la baisse de production des engrais sur le territoire français en 2006, les **utilisations non énergétiques** du gaz ont connu une forte croissance en 2007 et semblent se stabiliser en 2008 autour de 21 TWh.

### Électricité : la progression continue

La consommation d'électricité primaire (19) non corrigée du climat (égale à la production primaire brute – le solde des échanges) progresse de 3,3 % en 2008, et atteint 466,1 TWh.

L'indice de rigueur remonte cette année à 0,941, après un niveau particulièrement bas en 2007 (0,870), retrouvant un niveau très voisin de celui de 2006 (0,945). Il entraîne une correction climatique de +2,9 TWh, après -7,0 TWh en 2007. Après correction du climat, la consommation d'électricité primaire croît de 2,4 %, après une hausse de 1,0 % en 2007 et de 0,9 % en 2006.

Le maximum de puissance appelée de l'année a été atteint le lundi 15 décembre, à 84,4 GW. Il ne s'agit pas d'un record, le précédent maximum absolu de consommation ayant été atteint le 17 décembre 2007, avec 89,0 GW. Toutefois, si aucun maximum historique n'a été enregistré en 2008, la croissance des consommations de pointe hivernale s'est poursuivie, à un rythme supérieur à celui des volumes consommés.

Pour la première fois depuis quatre ans, la consommation finale d'électricité, mesurée en données réelles, avait légèrement reculé en 2007, de 0,4 %, du fait de la douceur des températures ; en données corrigées du climat, toutefois, la consommation finale avait continué de progresser, avec +0,7 %. En 2008, avec des températures plus proches de la normale, la consommation finale réelle

(18) Les raffineries produisent aussi, fréquemment, de l'électricité et de la chaleur (ces consommations sont analysées avec la consommation de gaz pour la production d'électricité et de chaleur).

(19) La consommation d'électricité primaire se compose de la consommation brute de la branche énergie et de la consommation finale énergétique, desquelles on soustrait la production thermique classique brute d'électricité (retracée dans le bilan de l'énergie comme une consommation négative d'électricité au sein de la branche « énergie »). C'est aussi la production primaire brute, moins les exportations, plus les importations.

s'inscrit en hausse soutenue, avec +3,1 %. En données corrigées du climat, la hausse, bien que moindre, demeure importante : +2,1 %.

Il convient également de noter que la hausse enregistrée en 2008 a été amplifiée par le fait que l'année 2008 était bissextile, l'impact de cet effet calendaire pouvant être estimé à environ 0,3 point de croissance de la consommation électrique.

Le résidentiel-tertiaire représente près des deux-tiers de la consommation totale et joue de ce fait un rôle essentiel dans les évolutions d'ensemble de la consommation finale. Sa consommation d'électricité est en forte progression, tant en données réelles (+5,4 %) qu'en données corrigées du climat (+3,8 %). La tendance à la hausse de la consommation du résidentiel-tertiaire ne se dément toujours pas cette année.

La consommation d'électricité dans l'industrie (sidérurgie incluse) poursuit sa tendance à la baisse, avec un rythme que la dégradation de la conjoncture industrielle ne peut qu'amplifier : -1,8 % en 2008, après -0,4 % en 2007 et -1,0 % en 2006.

La consommation d'électricité dans les transports ferroviaires et urbains est en hausse de 4,1 % en 2008, après une progression de 0,7 % en 2007.

La consommation d'électricité des exploitations agricoles raccordées en haute et moyenne tension, à laquelle a été ajoutée la consommation des exploitations raccordées en basse tension, s'établit en 2008 à 7,2 TWh. Ce poste de consommation est également très fluctuant d'une année à l'autre puisque, après une baisse de 7,7 % en 2007, elle s'inscrit en nette hausse en 2008, avec +5,7 % (cf. annexes, figure 15).

La consommation d'électricité de la branche énergie comprend pour sa part les usages internes de la branche électricité (consommation d'Eurodif pour enrichir l'uranium et des producteurs), les pertes, la consommation des auxiliaires et des stations de pompage. Après avoir progressé de 4,3 % en 2007, elle n'augmente plus que de 0,3 % en 2008. La consommation des stations de pompage, qui était soutenue en 2007 à 7,7 TWh, est beaucoup plus basse en 2008, avec seulement 6,5 TWh.

### Énergies renouvelables thermiques et déchets : un nouveau bond de près de 10 %

Après correction du climat, la consommation primaire totale du poste « ENRt et déchets » (20) croît de 8,8 % à 14,9 Mtep, après +9,8 % en 2007 et une quasi-stagnation de 2000 à 2005. Sur le court terme, il s'agit, de loin, de la forme d'énergie la plus dynamique au sein du mix primaire de la France. Elle est tirée principalement, comme en 2007, par le développement rapide des agro-carburants, mais aussi, dans une moindre mesure, par le développement – plus ou moins rapide – de pratiquement toutes les technologies (pompes à chaleur, solaire thermique, bois-énergie...).

Les principales évolutions qui se dégagent sont :

- la consommation de la branche énergie avec 2,8 Mtep en 2008 augmente régulièrement, la part d'énergie primaire transformée en électricité (déchets urbains, bois-énergie, biogaz) marquant une nette tendance à la hausse (+5,1 %) ;
  - la consommation finale énergétique (12,0 Mtep) après correction climatique progresse pour la seconde année consécutive de plus de 1 Mtep, à la faveur notamment d'un accroissement très marqué dans les transports, lié à la montée en puissance des agro-carburants (+62 %). La consommation dans le résidentiel-tertiaire confirme sa tendance à la hausse (+2 % en 2007 et 2008), alors qu'elle baissait d'environ -2 % par an sur la période 2000-2005 ;
  - la répartition de la consommation finale (après correction climatique) entre les différents secteurs utilisateurs présente pour la seconde année consécutive une réelle évolution : la part du résidentiel-tertiaire (8 Mtep soit 66,7 %) perd encore 5 points et celle de l'industrie (1,5 Mtep soit 12,8 %) recule d'un point, au profit des transports (20,1 % à 2,4 Mtep), qui occupent à présent une place importante et devancent désormais largement le secteur de l'industrie. La part de l'agriculture reste marginale (0,5 %), mais elle pourrait à l'avenir progresser, avec la mise en place des mesures du Grenelle de l'Environnement (cf. annexes, figure 16).
- En agrégeant l'ensemble des énergies renouvelables, thermiques et électriques, la consommation primaire s'élève à 19,7 Mtep, en léger décalage avec leur production primaire (19,0 Mtep), du fait de l'importance des échanges extérieurs des agro-carburants (+0,35 Mtep) et de la correction climatique (0,3 Mtep). La part de ces énergies renouvelables dans la consommation totale d'énergie primaire poursuit sa progression, avec un taux de 7,1 % en 2008 (7,0 % sans correction du climat), après 6,4 % en 2007 (6,3 % sans correction climatique) (cf. annexes, figure 17).

Les fortes augmentations en données réelles des productions de l'hydraulique, des agro-carburants et du bois-énergie marquent un progrès sensible sur la voie des divers objectifs fixés par les politiques tant nationales qu'européennes (loi POPE de 2005, directives européennes). Toutefois, pour bien appréhender la tendance effective, il est nécessaire de calculer ces divers objectifs en éliminant les facteurs purement climatiques (pluviosité, rigueur climatique) : ainsi, l'hydraulique peut être corrigé, en prenant la notion de productible (calculé sur la base des productions potentielles sur 30 ans du parc des centrales hydrauliques). Pour le thermique, une correction climatique est appliquée aux combustibles utilisés pour le chauffage.

Le tableau ci-après retrace les principaux indicateurs sur les deux années 2007 et 2008 avec, d'une part, les don-

(20) Importations comprises. La consommation des énergies renouvelables électriques est naturellement incluse dans la partie « électricité ». Les estimations de consommation d'« ENRt et déchets » restent assez approximatives, tant en niveau qu'en évolution, dans la mesure où une partie de la production est autoconsommée ou échangée en dehors des circuits commerciaux.

	à climat réel		avec correction climatique (1)	
	2007	2008	2007	2008
Production primaire renouvelable	16,9 Mtep (+ 5,2 %)	19,0 Mtep (+ 12,7 %)	18,0 Mtep (+ 6,2 %)	19,4 Mtep (+ 7,6 %)
Consommation primaire renouvelable	17,2 Mtep (+ 6,9 %)	19,4 Mtep (+ 12,6 %)	18,3 Mtep (+ 7,9 %)	19,7 Mtep (+ 7,6 %)
Part des ENR dans la consommation d'énergie primaire totale	6,3 %	7,0 %	6,6 %	7,1 %
Part de l'électricité renouvelable dans la consommation totale d'électricité	12,9 %	14,1 %	14,0 %	14,2 %
Chaleur renouvelable	8,6 Mtep (- 1,1 %)	9,1 Mtep (+ 6,2 %)	9,3 Mtep (+ 3,2 %)	9,4 Mtep (+ 2,0 %)
Taux d'incorporation des agrocarburants	3,50 %	5,75 %	-	-
Part des ENR dans la consommation finale totale (2)	9,6 %	10,7 %	9,9 %	10,8 %

(1) en prenant en compte le productible pour l'hydraulique et les données corrigées du climat pour les renouvelables thermiques et la consommation d'énergie primaire totale  
(2) à titre indicatif avec méthodologie envisagée par la Commission Européenne

Source : SOeS.

Tableau XVII – Les chiffres-clés des énergies renouvelables 2007 et 2008 (chiffres provisoires).

nées réelles et, d'autre part, les données corrigées des facteurs climatiques. Tous ces indicateurs, à la hausse pour la seconde année consécutive, confirment la bonne orientation prise pour l'atteinte des objectifs et le long chemin à parcourir encore. Les données 2008, encore provisoires à ce jour, devront être confirmées.

Enfin, la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique finale totale, calculée selon la méthodologie envisagée dans le Paquet « énergie climat » de la Commission européenne, est égale en première approche à 10,8 %, en hausse de 0,9 point sur 2007 (pour mémoire, le partage des efforts présenté par la Commission en janvier 2008 assigne à la France, pour ce taux, l'objectif de 23 %, à atteindre d'ici 2020) (cf. tableau XVII et encadré 1).

### CONSOMMATION FINALE D'ÉNERGIE (21) PAR SECTEUR

La consommation finale, énergétique et non-énergétique (engrais, plastiques, goudrons...), corrigée du climat, est stable, à 175 Mtep (-0,3 % par rapport à 2007). Elle ne progresse plus depuis 2001, alors qu'elle s'accroissait de 1,3 % par an depuis 1990. La tendance est la même, pour les seuls usages énergétiques, avec 160 Mtep.

Les usages non-énergétiques ont sensiblement diminué (-5 %), victimes surtout de la hausse des prix du pétrole, qui a comprimé les marges de la pétrochimie, et donc induit une diminution d'activité.

Le secteur résidentiel et tertiaire connaît depuis plusieurs années une progression par à-coups. Sa consommation (corrigée du climat), avait reculé en 2006 et 2007 (-0,7 %, puis -0,6 %) ; elle progresse nettement en 2008, de 2,6 %, avec de forts réapprovisionnements (pour le pétrole) et une croissance vive de l'électricité. L'industrie diminuait régulièrement sa consommation d'énergie. La récession, qui, en 2008, frappe durement de nombreux

secteurs, vient renforcer cette tendance. L'agriculture ignore la crise. Et les transports connaissent une baisse exceptionnelle, sous les effets conjugués de la hausse des prix des carburants, qui a freiné les déplacements des ménages, et de la crise économique, qui a fait s'effondrer le trafic poids lourds. En outre, l'incorporation de 2,4 Mtep d'agro-carburants modifie de façon significative le paysage « tout pétrolier » de l'énergie dans ce secteur (cf. tableaux XVIII, XIX et annexes, figure 18).

### INDUSTRIE : NETTE BAISSÉ DE CONSOMMATION, AVEC -2,1 %

Le secteur de l'industrie, au sens du bilan de l'énergie, comprend la sidérurgie et les industries agro-alimentaires, mais ne comprend pas ce qui relève de la transformation de l'énergie (centrales électriques, raffineries, pertes de distribution, etc.). Les utilisations « non-énergétiques » (plastiques, engrais...), principalement des produits pétroliers (à hauteur de 90 %), font l'objet d'un traitement à part. La consommation énergétique de l'industrie ainsi définie baisse de 2,1 %, à 36,2 Mtep, accélérant ainsi sa baisse tendancielle (-1,0 % par an depuis 2000 et -0,3 % depuis 1990) (cf. annexes, figure 19).

La production de ce secteur fléchit fortement en 2008, avec -2,5 % (22), après quatre années de hausses consécutives. Cette décroissance est atténuée du fait de la quasi-stabilité du secteur de la construction (+0,4 %) puisque, en soustrayant ce secteur, la baisse de la production atteindrait 3,0 %. Après avoir été quasiment stable au cours des deux dernières années (+0,2 % en moyenne), l'activité des

(21) Consommation finale d'énergie : consommation totale d'énergie primaire, diminuée de la consommation de la branche « énergie » (centrales électriques, raffineries, consommations internes et pertes).

(22) Les évolutions des indices de la production industrielle correspondent aux résultats de l'Insee publiés en février 2009.

**Encadré 1****Les ENR en 2008 et les objectifs intermédiaires 2012 du Grenelle**

Fin 2008, les mesures de soutien déjà mises en œuvre ont permis de réaliser un tiers de l'effort supplémentaire nécessaire pour atteindre l'objectif 2012, inscrit dans le plan de développement des énergies renouvelables à haute qualité environnementale (COMOP n° 10). En effet, sur les 8 444 ktep supplémentaires à produire entre 2006 et 2012, 2 864 ktep l'ont déjà été en 2 ans, dont près de la moitié provient des agro-carburants (soit 1 376 ktep), 36 % de l'électricité (soit 1 019 ktep) et 16 % de la chaleur (soit 469 ktep).

Ainsi, 66 % de l'effort à fournir a déjà été réalisé pour les agro-carburants, 38 % pour l'électricité et 13 % pour la chaleur, (avec peu de disparité entre les différentes filières chaleur). L'objectif est atteint et même dépassé en 2008 pour l'hydraulique (2008 étant une année d'hydraulicité moyenne, alors qu'elle était faible en 2006).

D'ici 2012, parmi les 5 580 ktep supplémentaires attendus, 3 185 ktep (soit 57 %) concernent la production de chaleur et 1 671 ktep (soit 30 %) la production d'électricité, alors que l'effort sur les agro-carburants ne porte plus que sur 724 ktep (13 %). C'est essentiellement la poursuite de l'effort sur l'éolien qui permettra d'atteindre l'objectif en matière d'électricité renouvelable.

Pour la chaleur, les taux de progression attendus sont sensiblement identiques pour chacune des filières, mais en quantité, les progrès les plus importants devront être enregistrés par les filières bois-énergie (+1 654 ktep) et pompes à chaleur (+822 ktep).

**Production d'électricité et de chaleur renouvelable en ktep****Métropole + DOM**

Unité : ktep

	situation 2006 révisée (bilan SOeS)*	situation 2008 provisoire (bilan SOeS)	supplément 2006-2008 réalisé (A)	objectif 2012 (COMOP 10)	supplément 2006-2012 à réaliser (B)	part du supplément réalisé (A/B)
<b>Electricité</b>						
Hydraulique **	4 971	5 635	664	5 300	329	objectif atteint
Eolien	192	496	304	2 240	2 048	15 %
Photovoltaïque	2	5	3	95	93	3 %
Géothermie	67	77	10	20	-	objectif atteint
Biomasse	290	338	48	510	220	22 %
Total électricité hors hydraulique	551	916	365	2 865	2 361	15 %
<b>Total électricité</b>	<b>5 455</b>	<b>6 474</b>	<b>1 019</b>	<b>8 165</b>	<b>2 690</b>	<b>38 %</b>
<b>Chaleur ***</b>						
Solaire thermique	48	70	22	185	137	16 %
Géothermie profonde	114	114	0	195	81	0 %
PAC (pompes à chaleur)	296	478	182	1 300	1 004	18 %
- dont individuel	208	384	176	1 200	992	18 %
Bois-énergie	8 005	8 255	250	9 900	1 895	13 %
- individuel	6 585	6 642	57	7 400	815	7 %
- collectif/tertiaire	212	258	46	600	388	12 %
- industrie	1 208	1 355	147	1 900	692	21 %
UIOM	310	325	15	470	160	9 %
Biogaz	55	57	2	60	5	40 %
Autres biomasse	168	166	-2	540	372	-1 %
<b>Total chaleur</b>	<b>8 996</b>	<b>9 465</b>	<b>469</b>	<b>12 650</b>	<b>3 654</b>	<b>13 %</b>
<b>Agrocarburants</b>	<b>700</b>	<b>2 076</b>	<b>1 376</b>	<b>2 800</b>	<b>2 100</b>	<b>66 %</b>
Total hors hydraulique	10 247	12 457	2 210	18 315	8 115	27 %
<b>TOTAL</b>	<b>15 151</b>	<b>18 015</b>	<b>2 864</b>	<b>23 615</b>	<b>8 444</b>	<b>34 %</b>

\* NB : Les données désormais définitives du bilan des ENR pour l'année de base 2006 ont été actualisées. Compte tenu de l'importante révision à la baisse de la consommation de bois de chauffage (6 585 ktep contre 7 400 ktep), l'objectif global 2012 apparaît plus ambitieux : le supplément 2006-2012 à réaliser (colonne 5) a été sensiblement révisé à la hausse (8 444 ktep contre 7 644 ktep initialement).

\*\* L'hydraulique (hors pompage) est comptabilisée ici en données réelles. La production 2008 est très proche d'une année moyenne, en revanche celle de 2006 était très basse (du fait de la faible pluviosité), d'où la forte progression 2006-2008.

\*\*\* Pour les combustibles utilisés pour le chauffage (bois de chauffage et PAC), les productions de chaleur sont comptabilisées en données corrigées du climat.

	1973	1990	2002	2006	2007	2008	Variation en % par an			
							08/07	08/02	02/90	90/73
Résidentiel-tertiaire	56,2	57,7	66,4	68,0	67,6	69,4	2,6	0,7	1,2	0,2
Transports	25,9	40,8	50,0	50,1	50,9	50,2	-1,5	0,0	1,7	2,7
Industrie	47,9	38,2	39,6	37,2	37,0	36,2	-2,1	-1,5	0,3	-1,3
dont sidérurgie	12,5	7,0	6,0	6,1	6,0	5,7	-4,8	-0,8	-1,2	-3,4
Agriculture	3,7	4,0	4,4	4,3	4,2	4,3	2,2	-0,6	0,9	0,5
Total énergétique	133,6	140,7	160,5	159,7	159,7	160,0	0,2	-0,1	1,1	0,3
Non énergétique	10,9	12,4	15,1	15,5	16,1	15,3	-5,2	0,1	1,6	0,8
Total	144,6	153,1	175,6	175,2	175,8	175,3	-0,3	0,0	1,2	0,3
Source : SOeS										

Tableau XVIII – Consommation d'énergie finale (corrégée du climat) par secteur (en Mtep).

	1973	1990	2002	2006	2007	2008
Résidentiel-tertiaire	42,0	41,0	41,4	42,6	42,3	43,3
Transports	19,4	29,0	31,2	31,4	31,9	31,4
Industrie	35,9	27,1	24,7	23,3	23,2	22,6
dont sidérurgie	9,4	4,9	3,8	3,8	3,8	3,6
Agriculture	2,7	2,8	2,8	2,7	2,6	2,7
Total énergétique	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Source : SOeS						

Tableau XIX – Structure sectorielle de la consommation énergétique finale (corrégée du climat) (en %).

industries grosses consommatrices d'énergie (IGCE) perd 3,9 %, un rythme plus prononcé que celui de l'ensemble de l'industrie. Cette évolution est la résultante d'une dégradation de la conjoncture dans la quasi-totalité des secteurs. Ainsi, la métallurgie et la première transformation des métaux non-ferreux chutent de 8,9 %, l'industrie du verre affiche une décroissance de 7,5 %, l'industrie sucrière et la sidérurgie font presque autant (respectivement -7,7 % et -7,3 %).

A l'exception des énergies renouvelables (+2,0 %), dont la consommation profite notamment de la poursuite du développement de chaufferies industrielles au bois, et du gaz (+1,0 %), en lien avec l'augmentation des besoins pour le chauffage, toutes les autres formes d'énergie connaissent des baisses : -1,9 % pour l'électricité, -5,1 % pour le charbon et, surtout, -6,5 % pour le pétrole.

La consommation de la sidérurgie (-4,8 % en 2008) accentue sa baisse observée en 2007, en raison d'une très mauvaise conjoncture, particulièrement en fin d'année. Malgré une concurrence internationale de plus en plus vive, l'industrie française s'efforce de réduire ses charges en économisant l'énergie, réduisant ainsi ses coûts de production et contribuant favorablement à la baisse des émissions de CO<sub>2</sub>.

### Résidentiel et tertiaire : toujours plus, malgré les hausses de prix

La consommation énergétique du résidentiel-tertiaire, après une pause en 2006 et 2007, enregistre une forte croissance (+2,6 %), qui la replace dans une tendance à

la hausse d'environ 0,7 % par an depuis 2000. Cette croissance est sensiblement moins forte que celle de la période 1990-2000 (+1,1 % par an).

La consommation de gaz (corrégée du climat) est stable, pour la quatrième année consécutive. La période de forte croissance des années 1990, avec une progression moyenne de près de 4 % l'an, semble terminée.

Les énergies renouvelables confirment leur essor, avec +2 % par rapport à 2007, grâce surtout au développement des nouvelles énergies domestiques : pompes à chaleur, solaire thermique, etc. Depuis 2005, la tendance est maintenant à la hausse (cf. annexes, figure 20).

La surprise vient du pétrole, qui augmente de façon significative (+5,5 %) pour la première fois depuis longtemps, alors que les prix battent des records et que le chauffage au fioul a tendance à disparaître. Mais la hausse continue des prix avait fait plonger les ventes à un niveau extrêmement faible. La reprise de 2008 provient d'un réapprovisionnement d'autant plus fort qu'il avait été longtemps différé. Un phénomène semblable s'était produit en 2001, après les hausses de prix de 2000. Il convient de noter que le fioul, épargné par la TIPP, répercute les hausses de prix de façon bien plus spectaculaire que les carburants. D'autre part, il donne lieu à une facturation brutale pour des livraisons importantes, contrairement au gaz et à l'électricité, beaucoup plus indolores, grâce à leurs paiements étalés dans le temps. Le fioul domestique est certainement le mode de chauffage le plus sensible aux variations de prix. Manifestement, beaucoup de particuliers et d'entreprises tertiaires ont été obligés de se réapprovisionner en 2008. La consommation totale de 2008, si elle pro-

gresse par rapport à 2007, reste inférieure à celle de 2006, elle-même nettement inférieure à celle des années antérieures.

La consommation d'électricité, qui avait marqué le pas en 2007, avec seulement +1,4 %, retrouve son dynamisme, à +3,8 %. Il y a dans cette croissance une part tendancielle : l'électricité gagne des parts de marché dans le chauffage des constructions neuves. D'autre part, la croissance des équipements électriques et électroniques du résidentiel-tertiaire (ordinateurs, consoles, portables divers, fours à micro-ondes...) se poursuit. Il est en outre probable que, en 2008, beaucoup de ménages aient utilisé des chauffages d'appoint électriques (cf. encadré 2).

### Agriculture-pêche : réapprovisionnement et croissance

Grâce aux travaux du Service de statistique agricole, les consommations énergétiques de l'agriculture ont pu être évaluées de façon beaucoup plus précise que précédemment (cf. annexe). La tendance générale est à une stabilité depuis les années 90, mais les premières estimations pour 2008 font ressortir un réapprovisionnement non négligeable, comme pour les ménages. De plus, l'activité agricole a été forte au cours de 2008, avec une croissance de 2,2 %. Par contre, la pêche, désormais comptée avec l'agricultu-

re, a fortement souffert de la hausse des prix et des quotas qui lui ont été imposés afin de préserver la ressource halieutique. Sa consommation a encore diminué de 7,6 % en 2008. Depuis 2004, c'est une chute de 25 %.

### Transports : une baisse exceptionnelle

L'année 2008 enregistre une forte chute des transports intérieurs de marchandises (-4,2 % par rapport à 2007), après deux années consécutives de croissance. Le recul, amorcé en fait à la mi-2007, s'accélère tout au long de l'année 2008, avant l'effondrement du quatrième trimestre. Il reflète la crise économique qui a compté parmi ses premières cibles des activités fortement demandeuses de transport, comme l'industrie automobile ou la construction. C'est le transport par route qui a été le plus touché (-5,5 % pour le pavillon français), alors que les transports ferroviaires (-1,9 % hors transit) et fluviaux (-0,5 %) étaient davantage épargnés.

Le transport intérieur de voyageurs renoue avec une légère décroissance (-0,3 % en voyageurs x kilomètres), avec surtout une baisse de la circulation des voitures particulières de 1,5 % (chiffre provisoire). A part le transport aérien qui ralentit, les transports collectifs de voyageurs continuent de croître à un rythme soutenu (+5,0 %) : ni les transports sur longue distance, ni les transports urbains ne semblent enregistrer, en 2008,

## Encadré 2

### L'énergie utilisée dans les logements neufs

*Depuis 2006, l'enquête sur le prix des terrains à bâtir du SOeS interroge les ménages constructeurs de maisons individuelles neuves sur le mode de chauffage prévu. En 2007, 47 % des maisons individuelles neuves sont prévues pour être chauffées à l'électricité seule, 9 % au gaz seul et 1 % au fioul seul, chacune de ces énergies étant en recul par rapport à 2006 ; inversement les énergies renouvelables se développent fortement, comme seules énergies de chauffage dans 21 % des cas ou en complément d'une autre énergie dans 12 % des cas, selon les déclarations faites au titre de l'enquête sur le prix des terrains à bâtir réalisée avant ou au début de la construction de la maison. (Il s'agit des seules maisons individuelles en habitat diffus, c'est-à-dire hors lotissement).*

#### Énergie de chauffage des maisons individuelles neuves en 2007

Chauffage	2007	Part 2007 (en %)	Evolution (en %) 2007/2006
Fioul seul	1 725	1	-44
Électricité seule	76 045	47	-14
Gaz seul	14 458	9	-33
ENR seules	34 379	21	10
ENR + autre mode	19 534	12	9
Autres cas	14 160	9	-12
Total	160 301	100	-10

Source : SOeS, enquête sur le prix des terrains à bâtir

une diminution de la fréquentation susceptible de remettre en cause les reports modaux observés ces dernières années.

Du point de vue de la consommation énergétique, l'année 2008 restera singulière. D'abord, parce que la consommation des transports régresse, ce qui, en trente ans, n'était arrivé qu'en 2003 (-0,9 %) et en 2005 (-0,8 %) (23). La baisse (de 1,5 %) de 2008 est donc exceptionnelle, équivalente seulement à celle de 1974 (-1,6 %), lors du premier choc pétrolier. De plus, si l'on s'intéresse aux seuls produits pétroliers, on constate une baisse de la consommation qui atteint 3,6 %. L'incorporation d'agro-carburants a en effet permis d'économiser 2,42 Mtep, soit presque 1 million de plus qu'en 2007. Jusqu'ici la consommation des transports était à 97 % pétrolière ; elle ne l'est plus qu'à 93 % (cf. annexes, figure 21).

Les grands événements de l'année 2008 sont évidemment l'envolée des prix des carburants au premier semestre, avec un super sans plomb 95 à 1,50 € le litre en juin-juillet, et la crise économique en fin d'année. La hausse des prix laissera certainement des traces durables. L'élasticité de court terme est en général assez faible, mais il semble que, cette fois, un seuil ait été franchi, susceptible d'infléchir effectivement le comportement des consommateurs. De plus, l'apogée des prix se situe à l'été, c'est-à-dire à une époque où sont plus fréquents les déplacements pour loisir, dont l'élasticité aux prix est supérieure à celle des déplacements professionnels.

Fait nouveau, l'année 2008 est marquée par un recul de la circulation routière sur tous les réseaux, y compris sur les autoroutes concédées (-1,4 % à réseau constant) où la circulation des voitures particulières n'avait pas décliné au cours de la dernière décennie, malgré le recul enregistré sur les autres réseaux. Ce trafic marque nettement le pas, à partir de la fin 2007. Il est très faible en juillet, puis en septembre. Mais il ne se reprend guère ensuite, bien que les prix baissent. Le trafic poids lourds sur autoroutes a, de son côté, continué à progresser au premier trimestre 2008, et il s'effondre, à partir de mai. L'attractivité du diesel a été fortement renforcée, sa plus faible consommation le rendant moins sensible au prix du carburant. Pourtant, le prix du gazole s'est rapproché à seulement 3 % du prix du super en juin 2008. Mais il a trop rapidement repris ses distances pour que les perceptions en soient modifiées. On peut s'attendre à une poursuite, voire une amplification, de la diésélisation du parc. Cette tendance est renforcée par l'instauration, début 2008, du bonus-malus, qui, de fait, stimule surtout les ventes de petites voitures diesel, qui

sont celles qui émettent le moins de CO<sub>2</sub>. Elles devraient, en outre, bénéficier de la prime à la casse, qui, dans le cadre du plan de relance en faveur de l'industrie automobile, vise à accélérer le remplacement des véhicules anciens. Au total, 77,3 % des immatriculations de voitures particulières neuves étaient des diesels (73,9 % en 2007).

Les particuliers ont réduit leur kilométrage (-1,5 %), manifestement en réaction à la hausse des prix. Mais, malgré les progrès techniques des véhicules, les consommations unitaires effectives ne sont plus en diminution. Parmi les facteurs explicatifs, on trouve l'amélioration du confort, avec la rapide extension de la climatisation, le moindre rendement lié au taux d'agro-carburants et le fait que la réduction du kilométrage touche surtout les trajets non urbains, où la consommation est plus faible (cf. annexes, figure 22).

### INTENSITÉ ÉNERGÉTIQUE : PAUSE DANS LES PROGRÈS

La baisse des intensités énergétiques primaire (24) et finale (25) a été fortement freinée par la crise. Les consommations d'énergie sont restées stables, alors que le PIB augmentait de 0,4 % selon les estimations disponibles. La moindre croissance du PIB a donc freiné, du moins dans l'immédiat, les progrès de la consommation énergétique. La baisse de l'intensité énergétique n'a été que de 0,5 % pour la consommation primaire et de 0,2 % pour la consommation finale. Ce type de résultat est assez classique : en période de crise, lorsque l'activité n'est pas à plein régime, l'efficacité énergétique se dégrade. Une évolution comparable s'est déjà produite en 2002, avec -0,3 % pour l'intensité énergétique primaire, pour un PIB qui ne progressait que de 1 %. En 2008, le rythme d'amélioration de l'efficacité énergétique est nettement inférieur à l'objectif de maîtrise de l'énergie prévu par la loi de programme du 13 juillet 2005 fixant les orientations de politique énergétique (loi POPE), qui était une réduction de 2 % par an de l'intensité énergétique finale en 2015. Néanmoins, les résultats définitifs de 2006 et 2007 s'avèrent meilleurs que ce que laissaient penser les premières estimations et allaient au-delà des objectifs (ils étaient d'environ -2,5 % en énergie primaire et -2,3 % en énergie finale). Si bien que la moyenne, depuis 2005, année de la loi POPE, est en fait, sur trois ans, de -1,9 % en énergie primaire et de -1,6 % en énergie finale. L'objectif n'est donc pas hors de portée.

Par habitant également, la tendance est à une diminution de la consommation unitaire d'énergie, avec aussi un ralentissement en 2008 : le gain est de -0,6 % en énergie primaire (-0,8 % sur 2005-2008) et de -0,4 % en énergie finale (-0,6 % sur 2005-2008).

En moyenne, chaque habitant a ainsi consommé, en 2008, 4,39 tep d'énergie primaire et 2,59 tep d'énergie

(23) On ne retient pas, ici, le -0,02 % de 2000, nettement inférieur à la marge d'erreur...

(24) Rapport entre la consommation finale d'énergie primaire, corrigée du climat, et le PIB exprimé en volume.

(25) Rapport entre la consommation finale énergétique, corrigée du climat, et le PIB exprimé en volume.

finale (usages non énergétiques exclus) (cf. annexes, figure 23).

### ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub> LIÉES À LA COMBUSTION D'ÉNERGIE : BAISSÉ SENSIBLE

Sans prétendre à la précision exigée par les accords internationaux en la matière, qui nécessitent un ensemble de données non disponibles à cette date, un calcul simple permet d'estimer les émissions de CO<sub>2</sub> à partir des bilans de l'énergie. Selon ce calcul, les émissions de CO<sub>2</sub>, liées à la combustion d'énergie et corrigées du climat, marqueraient une nouvelle baisse sensible en 2008. Cette baisse serait de 1,3 % et ferait suite à -0,8 % en 2007 et -1,4 % en 2006. Après un « plateau » de 1998 à 2005, les émissions liées à l'énergie sont donc maintenant clairement orientées à la baisse, et se situent en 2008 à -3,6 % en-dessous du niveau de 2005, très légèrement en-dessous du niveau de 1990. Le développement des énergies renouvelables a fortement contribué à ce bon résultat. Comme, globalement, les émissions des gaz à effet de serre (autres que le CO<sub>2</sub>) diminuent, la France est en position de respecter le protocole de Kyoto (cf. annexes, figure 24).

Pour la première fois, les émissions des transports se réduisent sensiblement en 2008 (-3,6 %), du fait des difficultés du secteur, mais aussi grâce au recours accru aux agro-carburants, dont on considère que le carbone libéré par leur consommation ne fait que retourner à l'atmosphère où il a été prélevé. L'industrie poursuit sa baisse (-3,0 %), entamée depuis longtemps, mais accentuée par la crise et la mise en place des quotas d'émissions. Les autres secteurs sont également en décroissance ces dernières années, même si le résidentiel-tertiaire progresse en 2008 (+2,1 %). Les émissions des centrales électriques (y compris autoproduction d'électricité) affichent une baisse significative (-5,1 %), mais la tendance du secteur se caractérise par une certaine irrégularité, en lien avec le recours plus ou moins important aux centrales électriques thermiques à flamme, nécessaire pour équilibrer offre et demande d'électricité. Ce recours est déjà réduit au minimum, mais il est dépendant des aléas climatiques et des conditions de production du nucléaire et de l'hydraulique.

#### La facture énergétique s'envole de 29 % et atteint près de 60 milliards d'euros

Avec 58,7 milliards d'euros, la facture énergétique de la France s'envole en 2008. Elle s'aggrave de plus de 13 milliards (+29,4 %). Elle dépasse ainsi le record établi en 1981, après le second choc pétrolier (55,1 milliards d'euros d'aujourd'hui). Elle pèse toutefois moins lourd qu'à l'époque sur l'économie puisqu'elle ne représente

plus que 3 % du produit intérieur brut, contre 4,9 % en 1981. L'aggravation de la facture énergétique explique, à elle seule, l'aggravation du déficit extérieur français. Hors énergie, la balance commerciale serait légèrement excédentaire ; avec l'énergie, elle est déficitaire de 55,7 milliards (cf. annexes, figure 25).

La facture pétrolière est de 46,4 milliards d'euros, en hausse de 26 %, soit +9,7 milliards. L'augmentation vient presque intégralement des importations de pétrole brut (+9,3 milliards). Pour les produits raffinés, en effet, importations et exportations progressent, en valeur, quasiment de la même façon (19,7 milliards d'importations, 13,9 d'exportations, en hausse respectivement de 4 et 3,6 milliards). La facture gazière est de 12,4 milliards d'euros. Elle s'aggrave de 3,5 milliards (+39 %). La facture charbonnière est de 2,7 milliards. La hausse est de 83 %, mais elle ne représente que 1,2 milliards.

L'électricité continue d'être un produit d'exportation, qui a rapporté au pays 2,8 milliards d'euros, contre 1,8 en 2007. La hausse est de 56 % : la hausse des prix a plus que compensé la réduction des quantités exportées.

La facture énergétique représente en 2008, 3,0 % du PIB national. C'est nettement plus qu'en 2007 (2,4 %) et que toutes les années récentes. Il faut remonter à la période des premier et deuxième chocs pétroliers (1974-1985) pour trouver un impact supérieur de la facture énergétique sur l'économie française, avec des maximums en 1974 (3,8 %) et surtout 1981 (4,9 %). Compte tenu de la durée moyenne du travail, la facture énergétique correspond à la production nette de la population active française en sept jours de travail, contre cinq jours et demi en 2007. La hausse des prix de l'énergie a donc représenté l'équivalent d'un jour et demi de travail des Français.

Le poids relatif de la facture énergétique dans les importations s'accroît de façon sensible (16 % contre 13 % en 2007). En 2008, il fallait en moyenne 52 jours d'exportations pour compenser les importations énergétiques (contre 41 jours en 2007). Là encore, il faut remonter à la période des premier et second chocs pétroliers (1974-1985) pour trouver une facture énergétique plus lourde relativement à l'économie (cf. annexes, figure 26).

Les ménages, pour qui les dépenses énergétiques sont difficilement compressibles, ont nettement souffert des hausses de prix. Les dépenses moyennes par ménage étaient en 2007 de 1 400 € pour l'énergie domestique et 1 300 € pour les carburants. Au total, cela représentait 7,0 % de leur budget (ou 5,4 % de leur consommation effective, où l'on ajoute notamment les soins pris en charge par la sécurité sociale), pour une somme de 73 milliards d'euros. En 2008, la hausse des prix sur ces postes a été en moyenne de près de 10 % pour l'énergie domestique et de 12 % pour les carburants et lubrifiants. A consommation égale, cela représentait, pour un ménage, une dépense supplémentaire de

140 € pour la maison, et de 156 € pour les carburants. Naturellement, ce sont les prix des produits pétroliers qui ont le plus évolué. Le fioul domestique a augmenté de 30 % entre janvier et juillet, avant de plonger de 40 % jusqu'en décembre et de finir l'année 20 % au-dessous du niveau de janvier. Moins sensibles, du fait du poids de la taxe intérieure sur les produits pétroliers, les carburants ont augmenté de 15 % de janvier à juillet avant de se replier de 26 % de juillet à décembre et finir 15 % en-dessous du niveau de janvier.

## ANNEXE MÉTHODOLOGIQUE

### Révision des bilans par secteur, révision du bois, nouvelle nomenclature d'activité

Tous les ans, des modifications mineures doivent être apportées au bilan pour tenir compte des évolutions des sources et des problématiques. Cette année, plusieurs améliorations de fond méritent d'être détaillées parce qu'elles touchent des variables importantes.

#### Révision des bilans par secteur

L'amélioration des statistiques sur l'agriculture nous a conduits à réviser la répartition des consommations par secteur. Les séries ont été réropolées pour assurer, dans ce document, la comparabilité des évolutions. Par contre, l'amélioration entraîne des ruptures de séries avec les bilans publiés antérieurement.

- **Agriculture** : le Service statistique de l'agriculture (Service des statistiques et de la prospective ou SSP aujourd'hui, Service central des études et enquêtes statistiques ou Scees hier) a introduit, à notre demande, dans l'enquête du réseau comptable agricole (Rica) une interrogation sur les quantités d'énergie consommées. Cette enquête, désormais stabilisée, permet d'apporter une sensible réévaluation, à la hausse, des consommations.
- Pour les produits pétroliers, la sous-estimation de l'agriculture proprement dite était d'environ 40 % et portait sur quelque 0,8 Mtep. En revanche, la consommation de l'exploitation forestière n'a pas pu être évaluée. La réropolation de la série agriculture reprend les variations annuelles de l'ancienne série, mais avec calage sur les enquêtes de 1992 et 1981. D'autre part, la pêche a été ajoutée à l'agriculture, conformément à la pratique tant de l'Agence internationale de l'énergie que d'Eurostat. Ces deux institutions considèrent la consommation des bateaux de pêche davantage comme celle d'outils d'une production alimentaire que comme celle d'un mode de transport. Le transfert de la pêche porte sur environ 0,3

Mtep. Les données sur la pêche sont connues depuis 1950.

- Pour l'électricité, la seule information disponible jusqu'ici portait sur la consommation d'électricité haute et moyenne tension de l'agriculture. Le Rica permet d'évaluer la consommation basse tension des exploitations à 3,8 TWh (0,3 Mtep), soit autant que la haute et moyenne tension. La série est donc à peu près le double de la série antérieure. La réropolation utilise les consommations haute et moyenne tension connues, en en faisant évoluer la part.
- **Transports** : la consommation de la pêche (0,3 Mtep) a été retirée de la série transports. Elle a été transférée dans la série agriculture.
- **Résidentiel-tertiaire** : la sous-estimation de l'agriculture (0,8 Mtep de produits pétroliers et 0,3 Mtep d'électricité) était jusqu'ici attribuée au résidentiel-tertiaire. La consommation de ce secteur a donc été diminuée d'environ 1,1 Mtep.

#### Autres révisions significatives

- Les **consommations de bois** intègrent les résultats 2006 de l'enquête logement de l'Insee, qui se fondent sur les quantités déclarées par un échantillon de 36 000 ménages. C'est une source évidemment imparfaite puisque bien des ménages ignorent leur consommation exacte. Mais c'est, aujourd'hui, la source qui est, et de loin, la plus fiable. La série entière a été revue pour être rendue cohérente avec les précédents points de calage fournis par les enquêtes de 2001 et 2006. Cela inclut en particulier une révision – à la baisse de 1 Mtep, à climat réel – des chiffres de l'année 2005, ceux qui servent de base aux calculs des objectifs du Paquet « énergie-climat ». La nouvelle série utilise les tendances mesurées par les enquêtes logement successives, modulées en fonction des ventes des appareils de chauffage au bois et des variations de températures. Elle devra être révisée en fonction des résultats de la prochaine enquête logement, prévue pour 2012.
- Depuis quelques années, les **raffineries de pétrole** consomment comme combustible du gaz naturel, plutôt que du pétrole. Le bilan de 2008 fait apparaître cette consommation, qui n'avait pas été prévue.
- L'année 2008 a vu la mise en œuvre de la **nouvelle nomenclature NAF 2008**. En conséquence, la nomenclature des consommations d'énergie (NCE) a également dû être révisée, afin de tenir compte des modifications intervenues. La continuité a été privilégiée, mais n'a pas toujours pu être obtenue, ce qui a entraîné des ruptures de séries. De plus, l'affectation d'un nouveau code NAF aux entreprises a été parfois l'occasion d'une correction de leur activité principale, conduisant ainsi à un changement d'affectation en NCE. L'analyse des évolutions sectorielles des consommations entre 2007 et 2008 ne peut dès lors être faite qu'à un niveau d'agrégation assez grand. Ainsi, pour l'électricité, la sidérurgie ne pourra être analysée isolément : elle devra être ajoutée à

l'industrie. De même, la consommation du raffinage subit une importante rupture de série et ne pourra pas être analysée en évolution. Les postes « tertiaire » et « transports » sont moins touchés.

#### Résultats provisoires, résultats définitifs

- Publier le bilan de l'énergie quelques mois après la fin de l'année concernée oblige à estimer de nombreuses

données dont la durée d'élaboration nécessite davantage de temps. Aussi ce bilan est-il provisoire, beaucoup de variables restent à préciser (les ordres de grandeurs seront conservés). Des corrections seront apportées l'an prochain, voire dans deux ans.

- Le bilan de cette année comporte deux révisions importantes : une ré-estimation, à la baisse, de la production et de la consommation de bois (-1 Mtep) sur une dizaine d'années et une révision, à la baisse également, des importations de produits raffinés en 2007 (-0,8 Mtep).

## Bilan rénové de l'énergie 2008

(unité : Mtep)

BERNARD NANOT

	Charbon		Pétrole		Gaz		Électricité		ENRt et déchets	Total
	Houille Lignite PR	Coke Agglom.	Brut	Raffiné	Naturel	Indus- triels	Production brute	Consom- mation		
<b>APPROVISIONNEMENT</b>										
Production énergie primaire (P) .....	0,11		0,98	0,07	0,81		H : 6,42 N : 114,53		14,21	<b>137,13</b>
Importations .....	13,20	0,96	83,24	33,07	39,90	-	0,92		0,35	<b>171,64</b>
Exportations .....	- 0,11	- 0,66	-	- 26,74	- 1,09	-	- 5,05		-	<b>- 33,65</b>
Stocks (+ = déstockage, - = stockage) .....	- 1,38	- 0,04	+ 0,02	+ 0,27	+ 0,07	-			-	<b>- 1,06</b>
Soutes maritimes internationales .....				- 2,52						<b>- 2,52</b>
<b>TOTAL disponibilités (D) ..</b>	<b>12,08</b>		<b>84,24</b>	<b>4,15</b>	<b>39,69</b>	<b>-</b>	<b>116,82</b>		<b>14,56</b>	<b>271,54</b>
<b>Indépend. énerg. (P/D) .....</b>	<b>0,9 %</b>		<b>1,2 %</b>		<b>2,0 %</b>		<b>103,5 %</b>		<b>97,6 %</b>	<b>50,5 %</b>
<b>EMPLOIS</b>										
<b>Consommation de la branche énergie</b>										
Raffinage .....			84,26	- 78,88	0,54		- 0,11	0,39		<b>6,20</b>
Production d'électr. therm. Usages internes de la branche	5,18 3,71	- - 3,08	-	1,26 0,16	2,61 0,46	0,76 - 0,33	- 5,08	1,57 2,75	1,65 0,23	<b>6,38</b> <b>5,47</b>
Pertes et ajustement .....	- 0,23	- 0,11	- 0,02	0,00 0,14	0,08	- 0,01	- 5,19	79,54	0,93	<b>80,32</b>
<b>TOTAL (A) .....</b>	<b>8,66</b>	<b>- 3,19</b>	<b>84,24</b>	<b>- 77,32</b>	<b>3,69</b>	<b>0,42</b>	<b>- 5,19</b>	<b>84,25</b>	<b>2,81</b>	<b>98,37</b>
<b>Consommation finale énergétique (corrigée du climat)</b>										
Sidérurgie .....	1,63	2,87		0,02	0,62	0,80 - 1,22		1,02	-	<b>5,74</b>
Industrie .....	1,22	0,43		5,12	11,76	-		10,41	1,54	<b>30,48</b>
Résidentiel Tertiaire .....	0,31	0,05		13,39	22,70	-		24,87	8,03	<b>69,35</b>
Agriculture .....	-	-		3,32	0,28	-		0,62	0,05	<b>4,27</b>
Transports (*) .....	-	-		46,57	0,08	-		1,09	2,42	<b>50,16</b>
<b>TOTAL (B) .....</b>	<b>3,16</b>	<b>3,35</b>		<b>68,42</b>	<b>35,44</b>	<b>- 0,42</b>		<b>38,01</b>	<b>12,04</b>	<b>160,00</b>
<b>Consommation finale non énergétique TOTAL (C) .....</b>										
	-	<b>0,10</b>		<b>13,55</b>	<b>1,60</b>	<b>-</b>				<b>15,25</b>
<b>Consommation totale d'énergie primaire (corrigée du climat) TOTAL corrigé (A+B+C) ....</b>	<b>12,08</b>		<b>88,89</b>		<b>40,73</b>		<b>117,07</b>		<b>14,85</b>	<b>273,62</b>
<i>Dont corrections climatiques .....</i>	-		<i>0,50</i>		<i>1,04</i>		<i>0,25</i>		<i>0,29</i>	<i>2,08</i>
Indice de rigueur climatique = 0,941 (*) hors soutes maritimes internationales H : hydraulique, éolien, photovoltaïque N : nucléaire PR : produits de récupération ENRt : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique...) et pompes à chaleur Source : Service de l'observation et des statistiques										

## Bilan de l'énergie 2007

(unité : Mtep)

	Charbon		Pétrole		Gaz		Électricité		ENRt et déchets	Total
	Houille Lignite PR	Coke Agglom.	Brut	Raffiné	Naturel	Indus- triels	Production brute	Consom- mation		
<b>APPROVISIONNEMENT</b>										
Production énergie primaire (P) .....	0,17		0,97	0,08	0,91		H : 5,86 N : 114,60		12,68	<b>135,27</b>
Importations .....	11,76	0,80	81,15	32,77	37,71	-	0,93		0,32	<b>165,44</b>
Exportations .....	- 0,13	- 0,53	-	- 23,99	- 0,77	-	- 5,81		-	<b>- 31,23</b>
Stocks (+ = déstockage, - = stockage) .....	+ 0,83	- 0,05	+ 0,43	+ 0,78	+ 0,43	-			-	<b>+ 2,42</b>
Soutes maritimes internationales .....				- 2,88						<b>- 2,88</b>
<b>TOTAL disponibilités (D) ..</b>	<b>12,85</b>		<b>82,55</b>	<b>6,76</b>	<b>38,28</b>	<b>-</b>	<b>115,58</b>		<b>13,00</b>	<b>269,02</b>
<b>Indépend. éner. (P/D) .....</b>	<b>1,3 %</b>		<b>1,2 %</b>		<b>2,4 %</b>		<b>104,2 %</b>		<b>97,5 %</b>	<b>50,3 %</b>
<b>EMPLOIS</b>										
<b>Consommation de la branche énergie</b>										
Raffinage .....			82,71	- 77,38	0,51		- 0,12	0,33		<b>6,05</b>
Production d'électr. therm. Usages internes de la branche	5,66 3,69	- - 3,07	-	1,19 0,14	2,57 0,46	0,81 - 0,33	- 5,22	1,53	1,57 0,22	<b>6,58</b> <b>5,49</b>
Pertes et ajustement .....	- 0,21	- 0,15	- 0,16	0,00 - 0,22	0,06	- 0,04	- 2,85 79,56		0,94	<b>79,78</b>
<b>TOTAL (A) .....</b>	<b>9,14</b>	<b>- 3,22</b>	<b>82,55</b>	<b>- 76,27</b>	<b>3,60</b>	<b>0,44</b>	<b>- 5,34</b>	<b>84,27</b>	<b>2,73</b>	<b>97,90</b>
<b>Consommation finale énergétique (corrégée du climat)</b>										
Sidérurgie .....	1,93	2,85		0,03	0,66	0,89 - 1,33		1,00	-	<b>6,03</b>
Industrie .....	1,27	0,43		5,47	11,62	-		10,65	1,51	<b>30,95</b>
Résidentiel Tertiaire .....	0,33	0,05		12,69	22,71	-		23,97	7,87	<b>67,62</b>
Agriculture .....	-	-		3,28	0,27	-		0,58	0,05	<b>4,18</b>
Transports (*) .....	-	-		48,31	0,07	-		1,05	1,49	<b>50,92</b>
<b>TOTAL (B) .....</b>	<b>3,53</b>	<b>3,33</b>		<b>69,78</b>	<b>35,33</b>	<b>- 0,44</b>		<b>37,25</b>	<b>10,92</b>	<b>159,70</b>
<b>Consommation finale non énergétique TOTAL (C) .....</b>										
	-	<b>0,11</b>		<b>14,31</b>	<b>1,67</b>	-				<b>16,09</b>
<b>Consommation totale d'énergie primaire (corrégée du climat) TOTAL corrigé (A+B+C) ....</b>										
	<b>12,89</b>		<b>90,37</b>		<b>40,60</b>		<b>116,18</b>		<b>13,65</b>	<b>273,69</b>
<i>Dont corrections climatiques .....</i>										
	<i>0,04</i>		<i>1,06</i>		<i>2,32</i>		<i>0,60</i>		<i>0,65</i>	<i>4,67</i>
Indice de rigueur climatique = 0,870 (*) hors soutes maritimes internationales H : hydraulique, éolien, photovoltaïque N : nucléaire PR : produits de récupération ENRt : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique...) et pompes à chaleur Source : Service de l'observation et des statistiques										

## Bilan rénové de l'énergie 2006

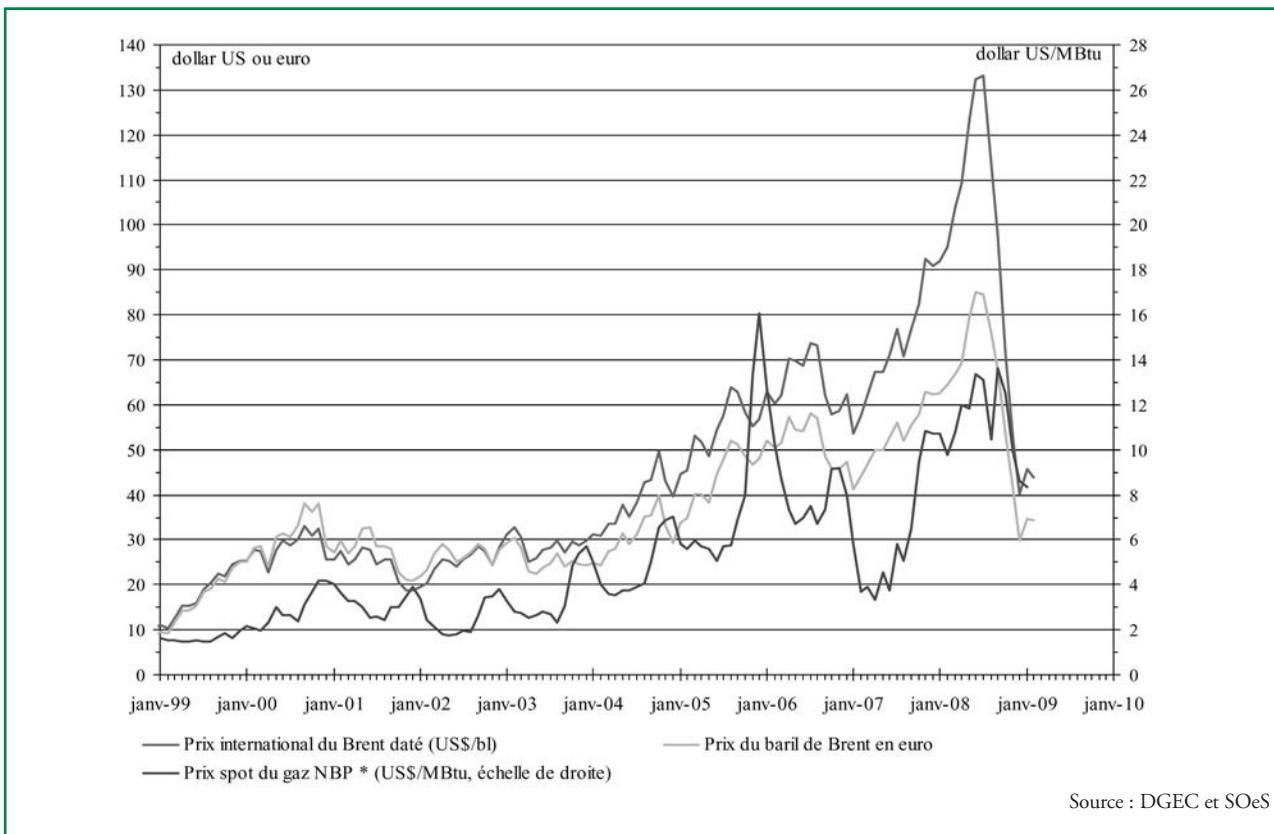
(unité : Mtep)

BERNARD NANOT

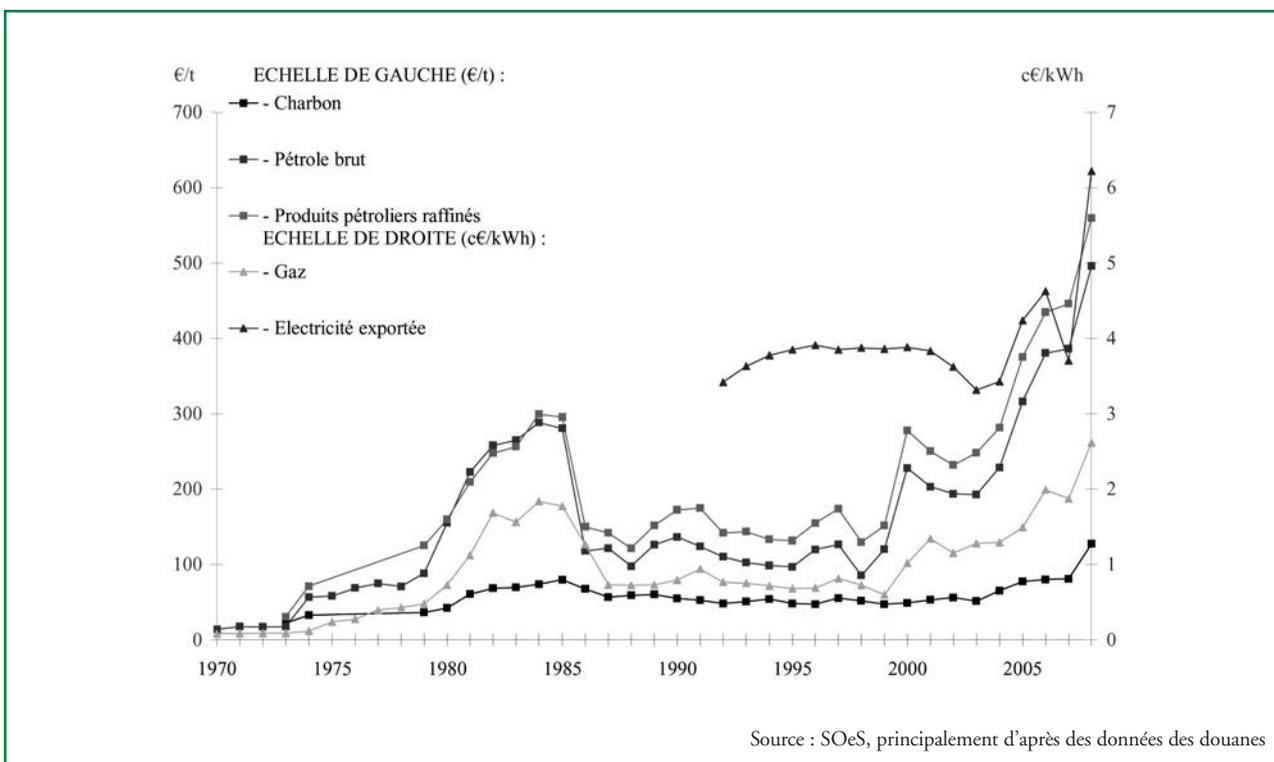
	Charbon		Pétrole		Gaz		Électricité		ENRt et déchets	Total
	Houille Lignite PR	Coke Agglom.	Brut	Raffiné	Naturel	Indus- triels	Production brute	Consom- mation		
<b>APPROVISIONNEMENT</b>										
Production énergie primaire (P) .....	0,18		1,06	0,20	1,05		H : 5,52 N : 117,32		12,13	<b>137,46</b>
Importations .....	12,64	1,07	82,00	36,93	39,95	-	0,73		0,04	<b>173,36</b>
Exportations .....	- 0,09	- 0,47	-	- 25,54	- 0,68	-	- 6,18		-	<b>- 32,96</b>
Stocks (+ = déstockage, - = stockage) .....	- 1,02	+ 0,10	- 0,36	- 0,34	- 0,90	-			-	<b>- 2,52</b>
Soutes maritimes internationales .....				- 2,81						<b>- 2,81</b>
<b>TOTAL disponibilités (D) ..</b>	<b>12,41</b>		<b>82,70</b>	<b>8,44</b>	<b>39,42</b>	<b>-</b>	<b>117,39</b>		<b>12,17</b>	<b>272,53</b>
<b>Indépend. énerg. (P/D) .....</b>	<b>1,5 %</b>		<b>1,4 %</b>		<b>2,7 %</b>		<b>104,6 %</b>		<b>99,7 %</b>	<b>50,4 %</b>
<b>EMPLOIS</b>										
<b>Consommation de la branche énergie</b>										
Raffinage .....			82,90	- 78,26	0,37		- 0,12	0,31	-	<b>5,20</b>
Production d'électr. therm. ....	5,22	-		1,51	2,41	0,83	- 5,06		1,41	<b>6,32</b>
Usages internes de la branche .....	3,65	- 3,23	-	0,13	0,49	- 0,31		1,28	0,21	<b>5,07</b>
				0,00				2,85		
Pertes et ajustement .....	- 0,50	0,36	- 0,20	0,71	0,09	- 0,03		81,35	0,94	<b>82,72</b>
<b>TOTAL (A) .....</b>	<b>8,37</b>	<b>- 2,87</b>	<b>82,70</b>	<b>- 75,91</b>	<b>3,36</b>	<b>0,49</b>	<b>- 5,18</b>	<b>85,79</b>	<b>2,56</b>	<b>99,31</b>
<b>Consommation finale énergétique (corrigée du climat)</b>										
Sidérurgie .....	1,98	2,96		0,03	0,60	0,92		1,03	-	<b>6,11</b>
						- 1,41				
Industrie .....	1,07	0,42		5,78	11,82	-		10,66	1,38	<b>31,13</b>
Résidentiel Tertiaire .....	0,31	0,06		13,64	22,66	-		23,64	7,71	<b>68,02</b>
Agriculture .....	-	-		3,33	0,29	-		0,63	0,05	<b>4,30</b>
Transports (*) .....	-	-		48,26	0,06	-		1,04	0,74	<b>50,10</b>
<b>TOTAL (B) .....</b>	<b>3,36</b>	<b>3,44</b>		<b>71,04</b>	<b>35,43</b>	<b>- 0,49</b>		<b>37,00</b>	<b>9,88</b>	<b>159,66</b>
<b>Consommation finale non énergétique</b>										
<b>TOTAL (C) .....</b>	<b>-</b>	<b>0,13</b>		<b>13,79</b>	<b>1,62</b>	<b>-</b>				<b>15,54</b>
<b>Consommation totale d'énergie primaire (corrigée du climat)</b>										
<b>TOTAL corrigé (A+B+C) ....</b>	<b>12,43</b>		<b>91,62</b>		<b>40,41</b>		<b>117,61</b>		<b>12,44</b>	<b>274,71</b>
<i>Dont corrections climatiques .....</i>	<i>0,02</i>		<i>0,48</i>		<i>0,99</i>		<i>0,22</i>		<i>0,27</i>	<i>1,98</i>
Indice de rigueur climatique = 0,945 (*) hors soutes maritimes internationales H : hydraulique, éolien, photovoltaïque N : nucléaire PR : produits de récupération ENRt : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique...) et pompes à chaleur Source : Service de l'observation et des statistiques										

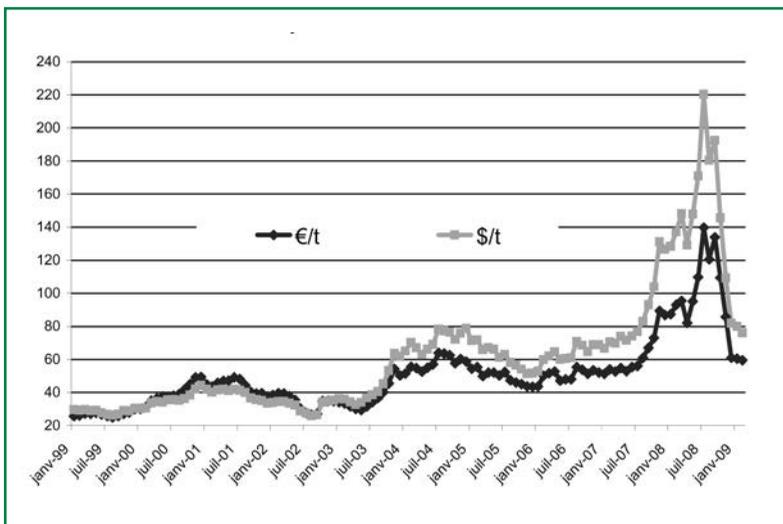
## ANNEXES

**Figure 1 : Prix moyens mensuels du baril de Brent daté et prix spot du gaz**



**Figure 2 : Prix moyens annuels des énergies importées et exportées en euros 2008**



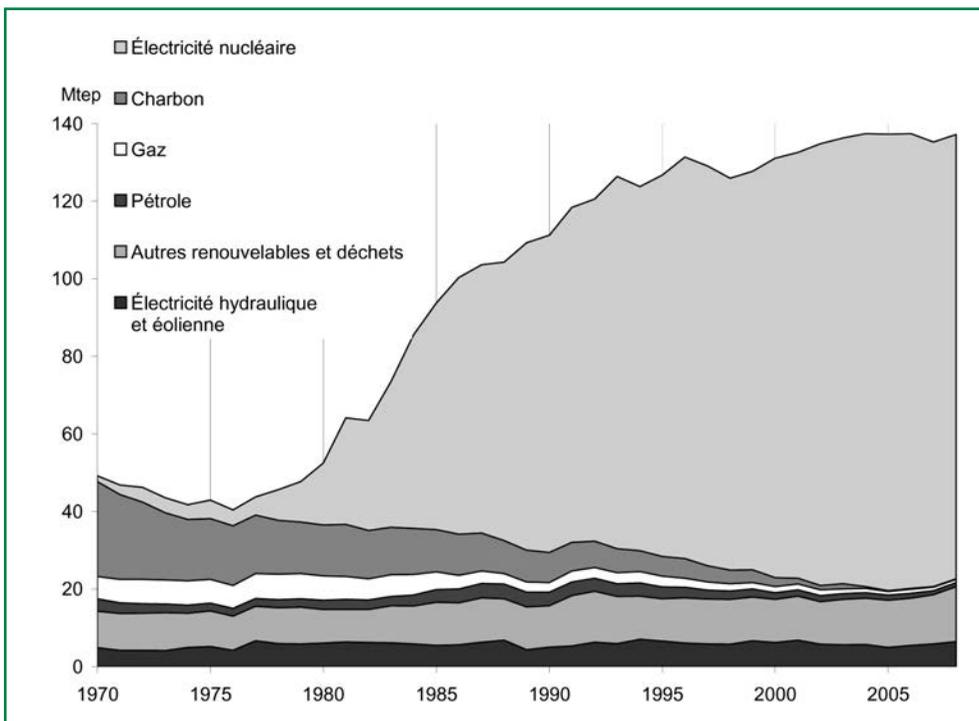
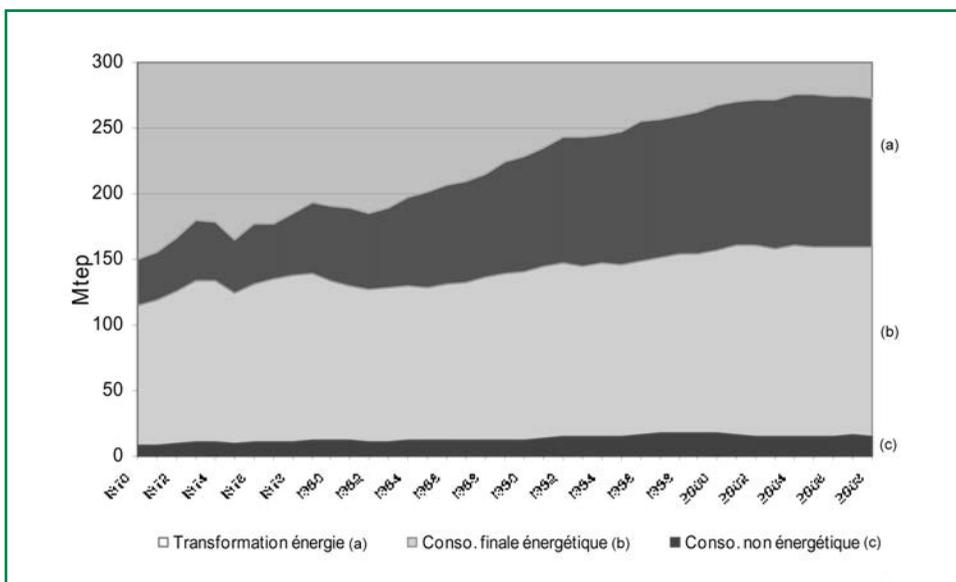


**Figure 3 : Prix spot du charbon vapeur sur le marché Anvers-Rotterdam-Amsterdam**

Source : Mc Closkey

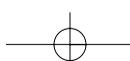
**Figure 4.**

Source : SOeS

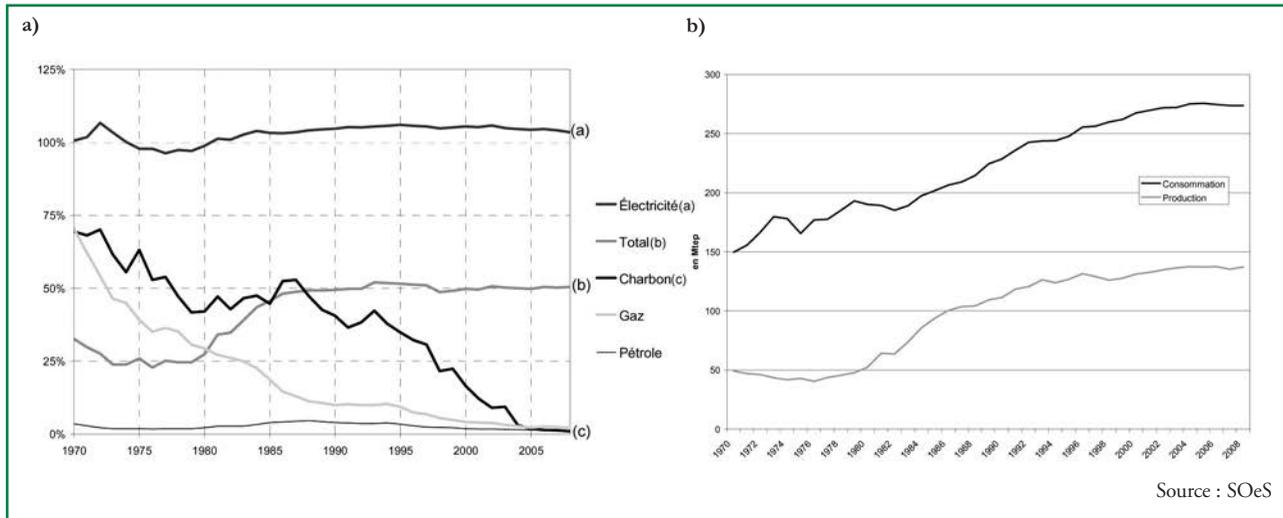


**Figure 5.**

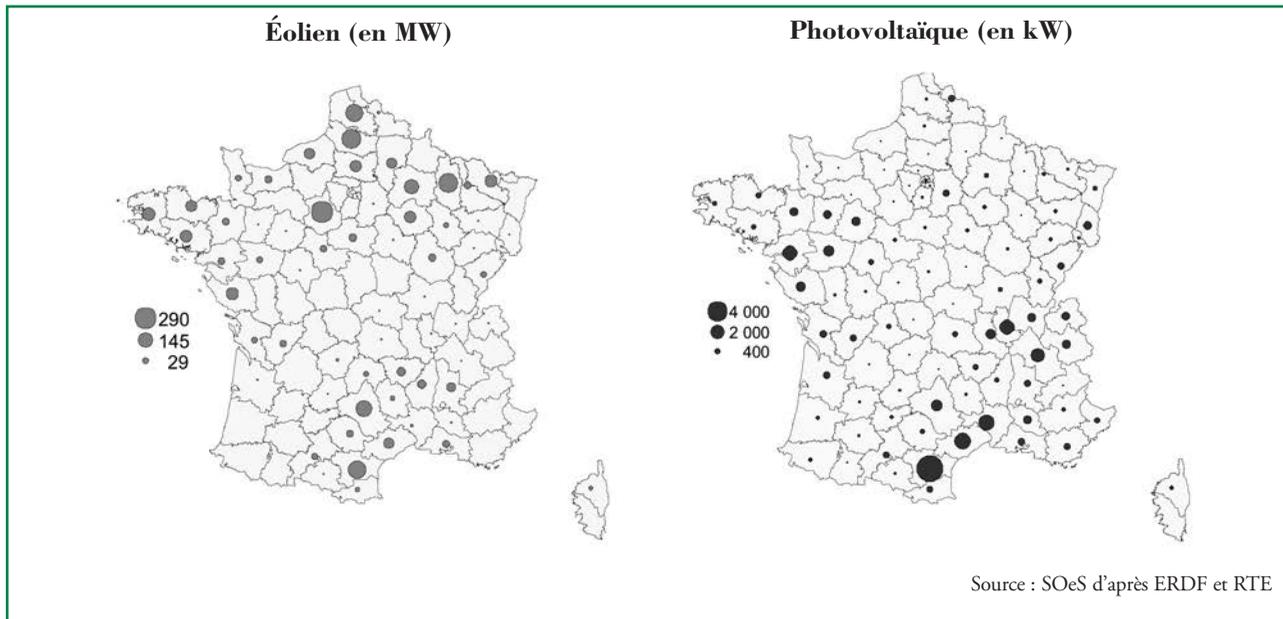
Source : SOeS



**Figure 6 : a) Indépendance énergétique totale (en %)  
b) Production et consommation d'énergie primaire, non corrigées du climat (en Mtep).**



**Figure 7 : Puissances éoliennes et photovoltaïques raccordées au réseau au 31.12.2008**



**Figure 8 : Part de l'électricité d'origine renouvelable dans la consommation intérieure brute d'électricité en %, pour la France métropolitaine**

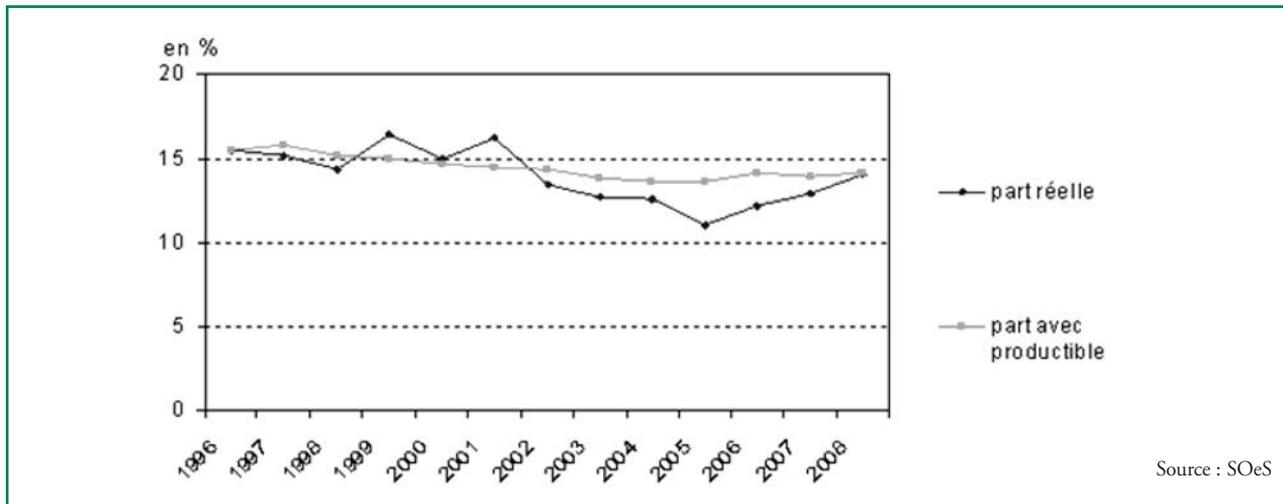


Figure 9.

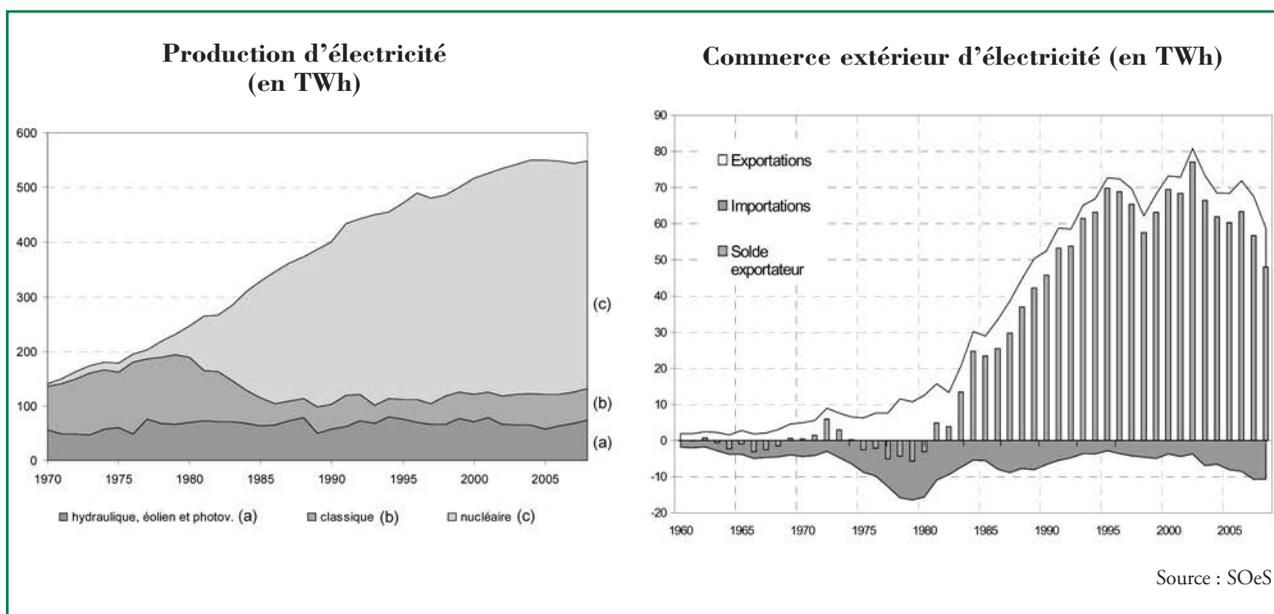


Figure 10 : Production primaire d'énergie renouvelable par filière (données réelles, en Mtep)

Source : SOeS

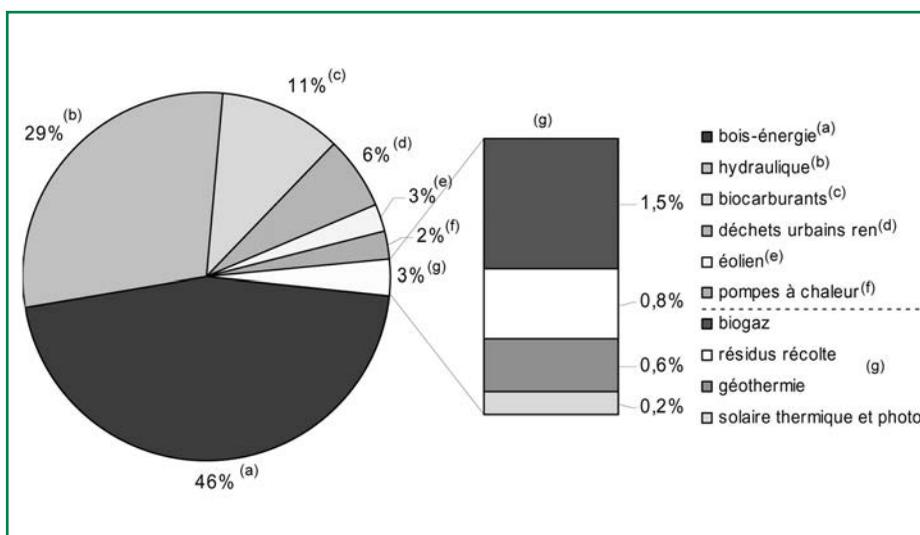
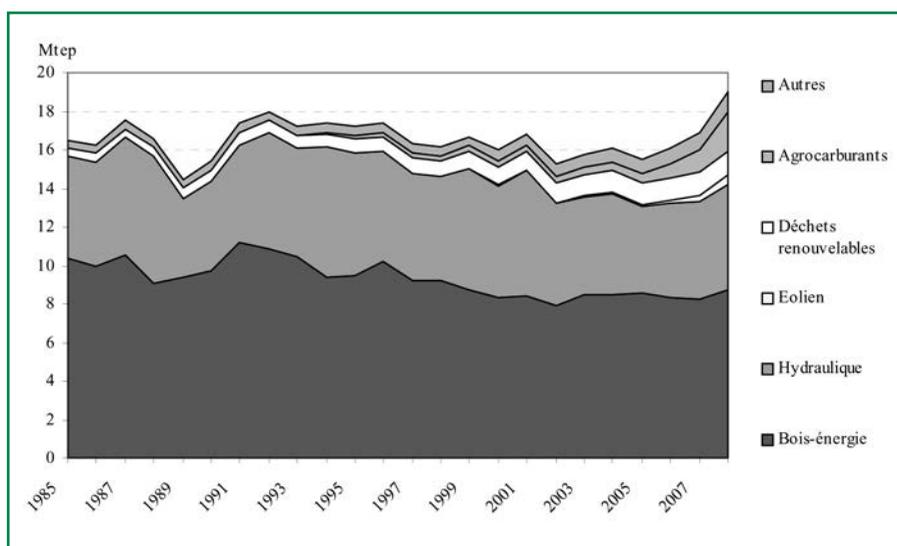
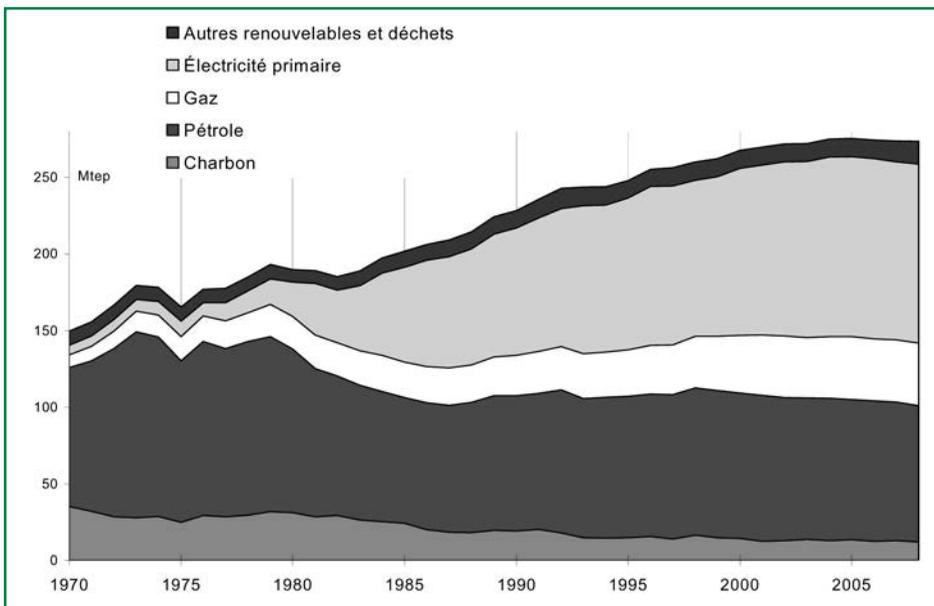


Figure 11 : Part de chaque filière dans la production primaire d'énergie renouvelable

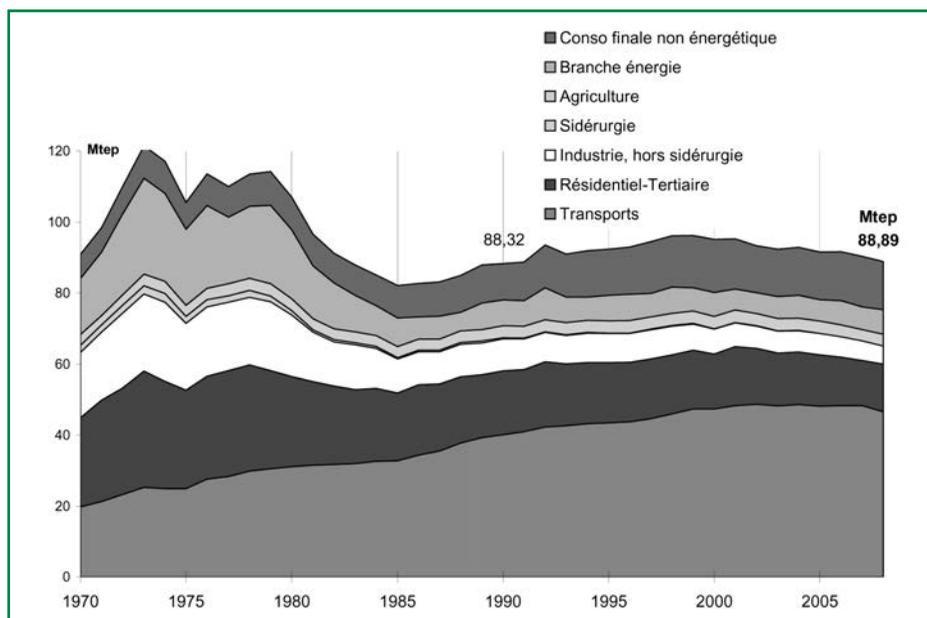
Source : SOeS



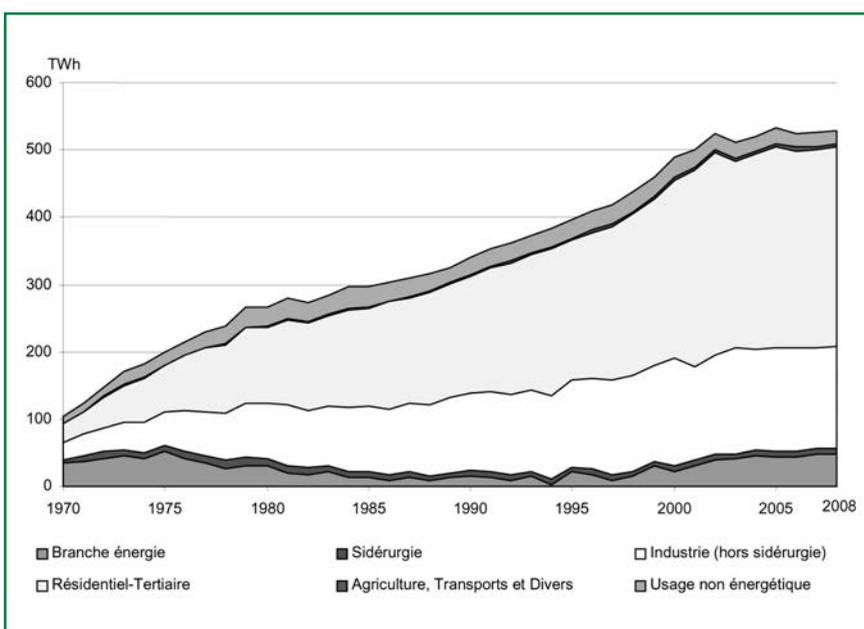
**Figure 12 : Évolution de la consommation d'énergie primaire corrigée du climat (en Mtep)**

Source : SOeS

**Figure 13 : Évolution de la consommation de pétrole (corrigée du climat) par secteur (en Mtep)**

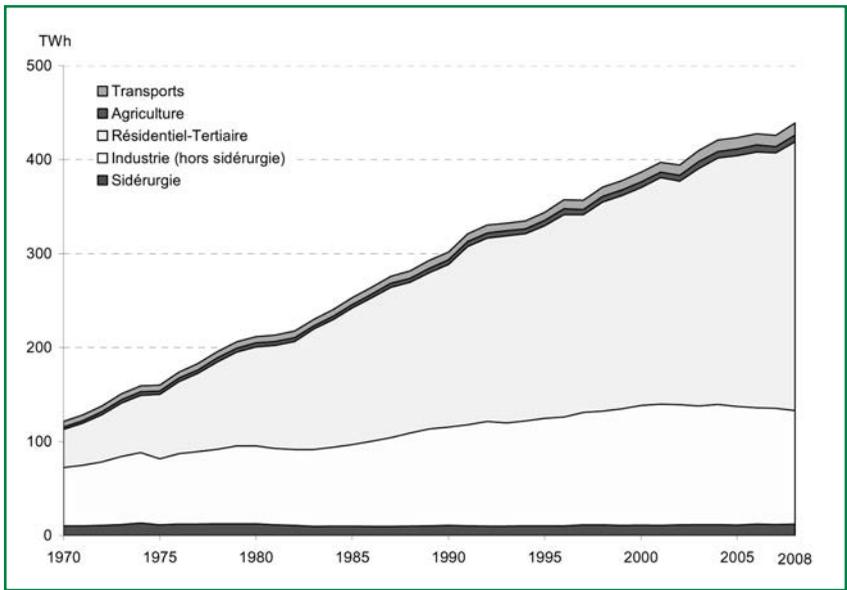


Source : SOeS



**Figure 14 : Évolution de la consommation primaire de gaz naturel (corrigée du climat, en TWh)**

Source : SOeS



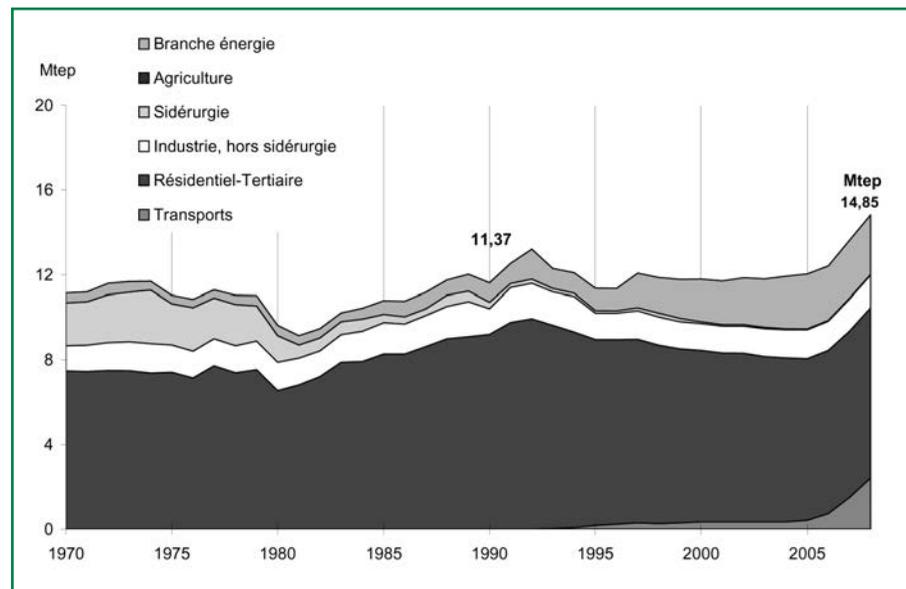
**Figure 15 : Évolution de la consommation finale d'électricité (corrigée du climat en TWh)**

Source : SOeS

BERNARD NANOT

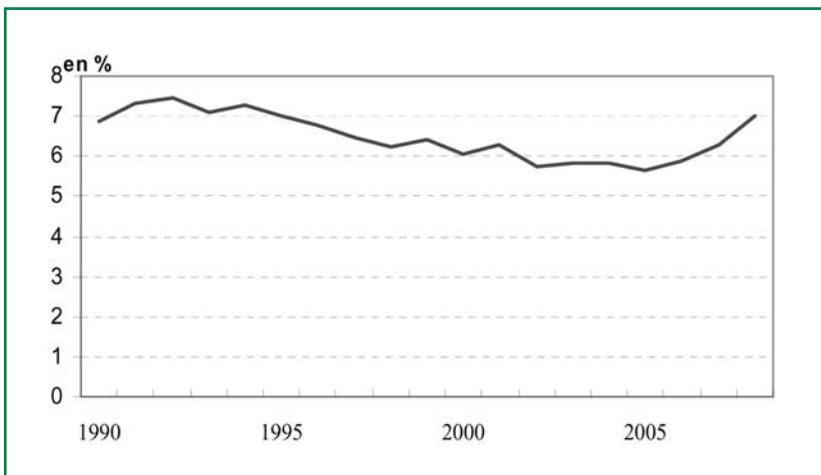
**Figure 16 : Évolution de la consommation d'énergie renouvelable (corrigée du climat) par secteur (en Mtep)**

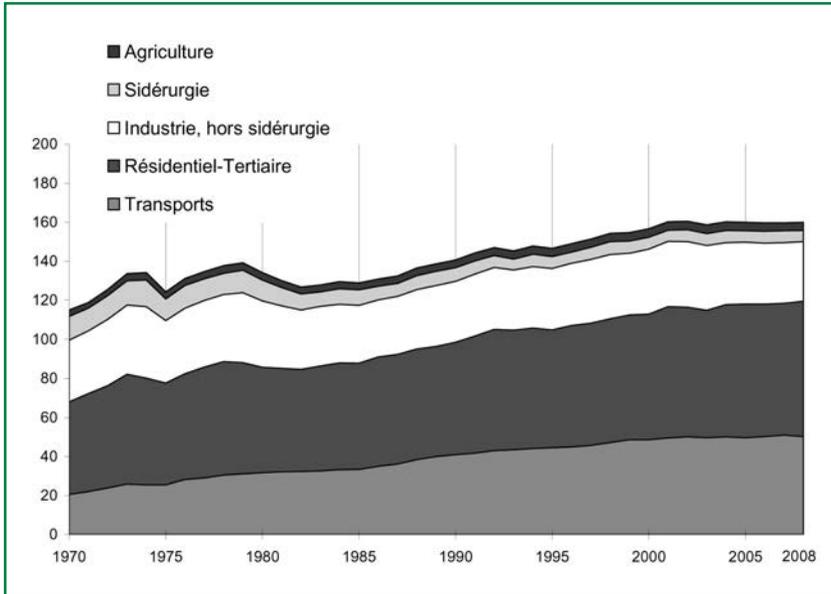
Source : SOeS



**Figure 17 : Part des énergies renouvelables dans la consommation totale d'énergie primaire (métropole)**

Source : SOeS



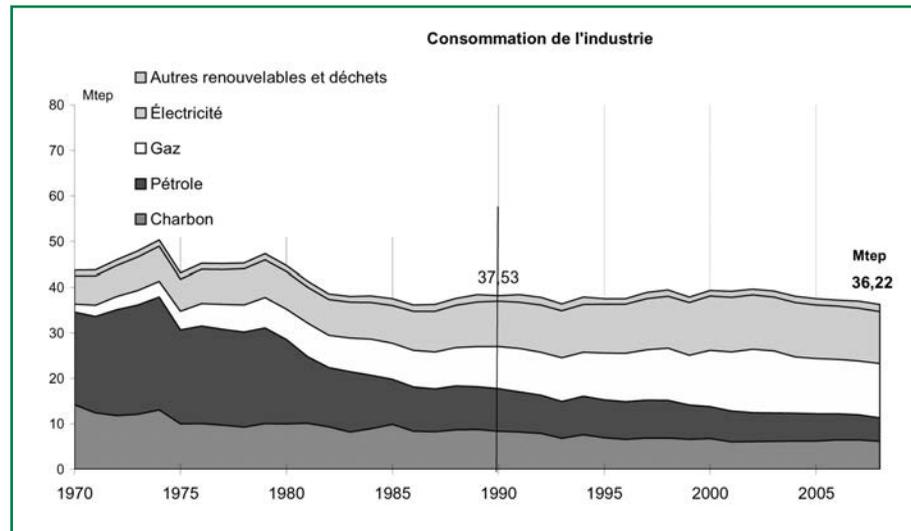


**Figure 18 : Évolution de la consommation d'énergie finale (corrigée du climat) par secteur (en Mtep)**

Source : SOeS

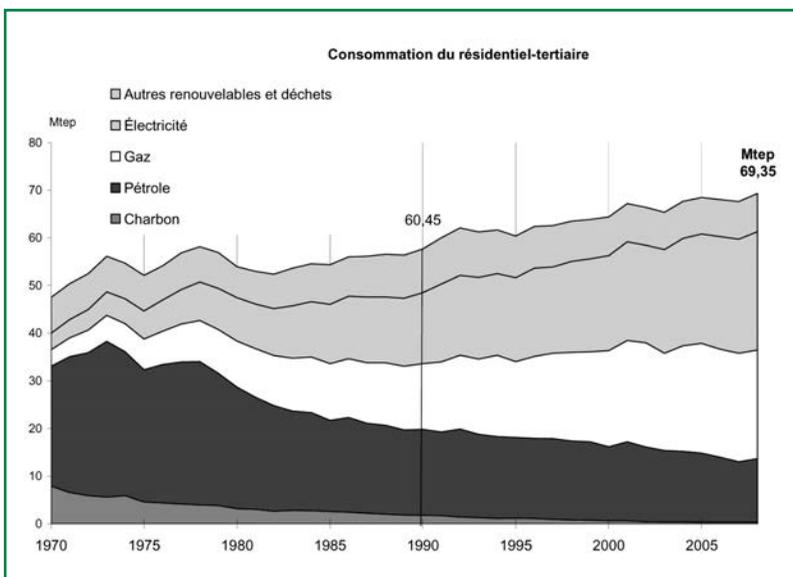
**Figure 19 : Évolution de la consommation d'énergie finale (corrigée du climat) dans l'industrie (Mtep)**

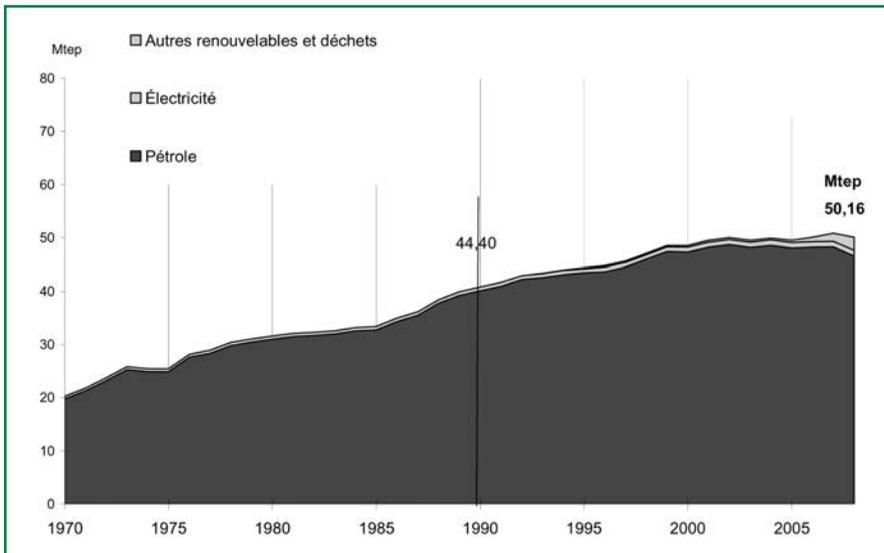
Source : SOeS



**Figure 20 : Évolution de la consommation d'énergie finale (corrigée du climat) dans le secteur résidentiel et tertiaire (Mtep)**

Source : SOeS



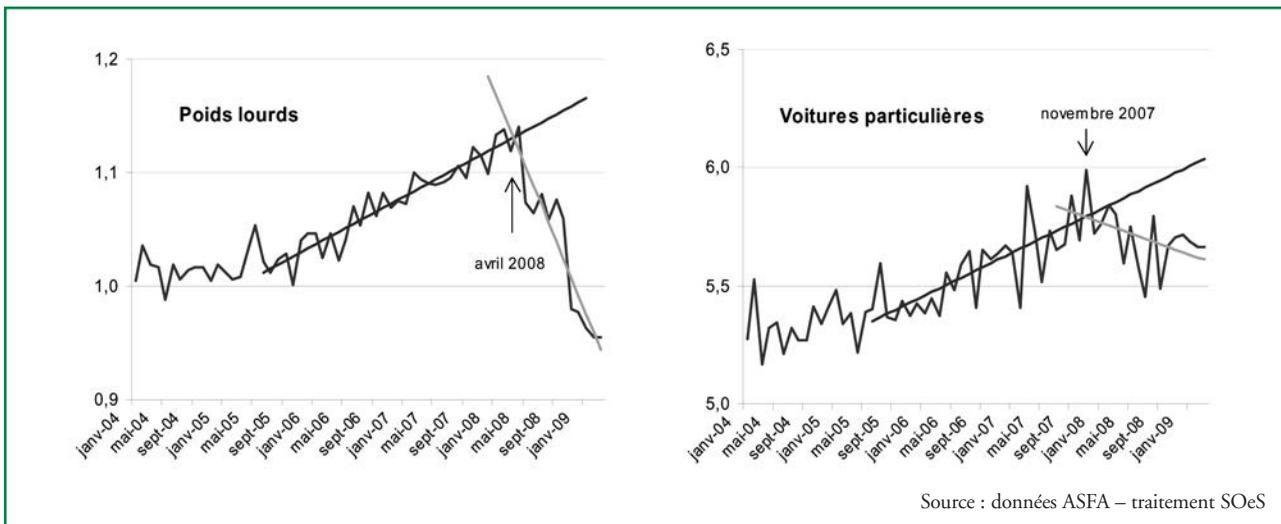


**Figure 21 : Évolution de la consommation d'énergie finale (corrégée du climat) des transports (Mtep)**

Source : SOeS

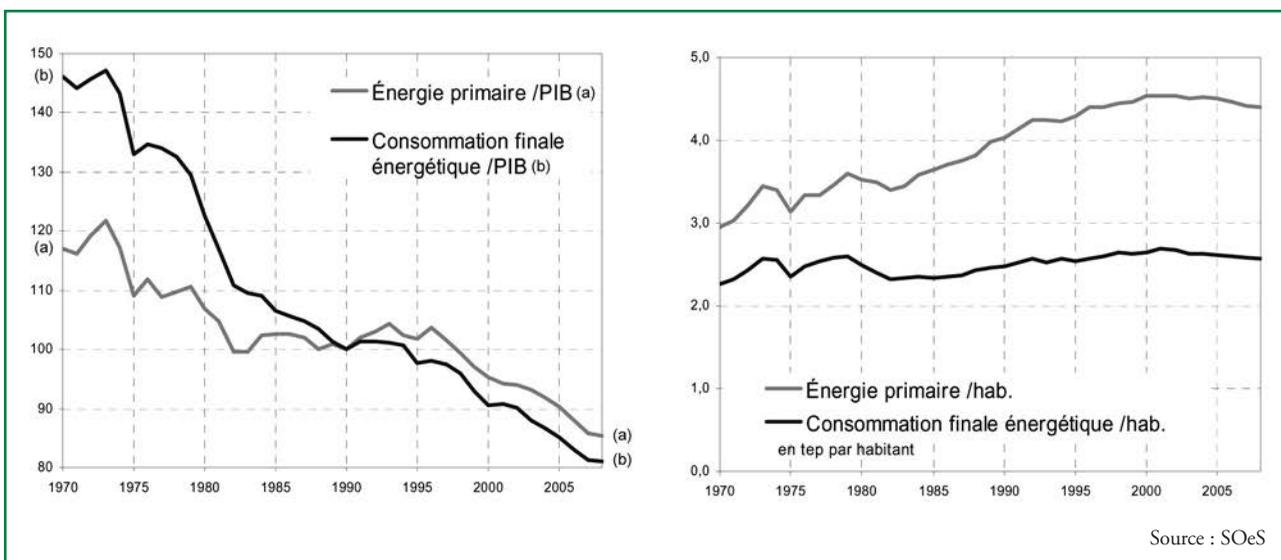
BERNARD NANOT

**Figure 22 : Trafic sur les autoroutes – en milliards de véhicules/km, corrigés des variations saisonnières et des jours ouvrables**

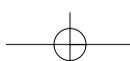


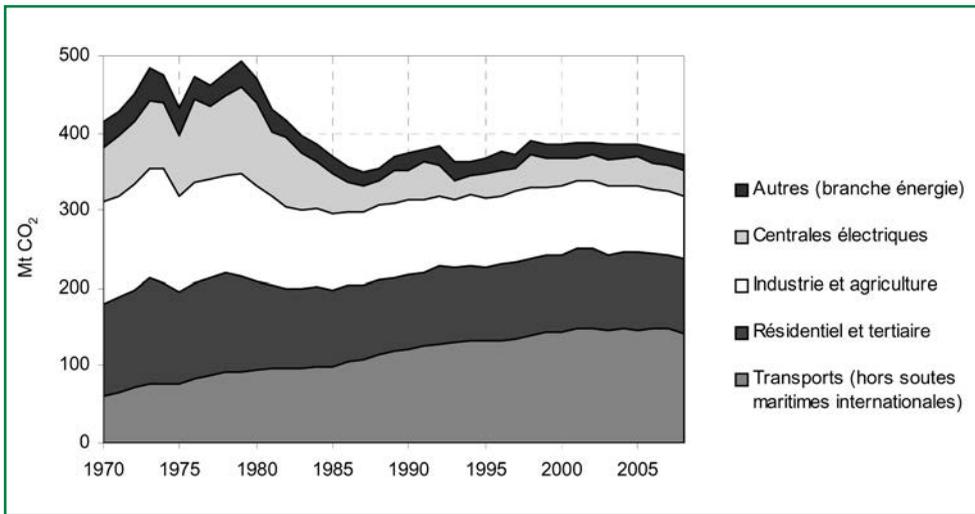
Source : données ASFA – traitement SOeS

**Figure 23 : Consommations primaire et finale énergétique en TEP par unité de PIB et par habitant**



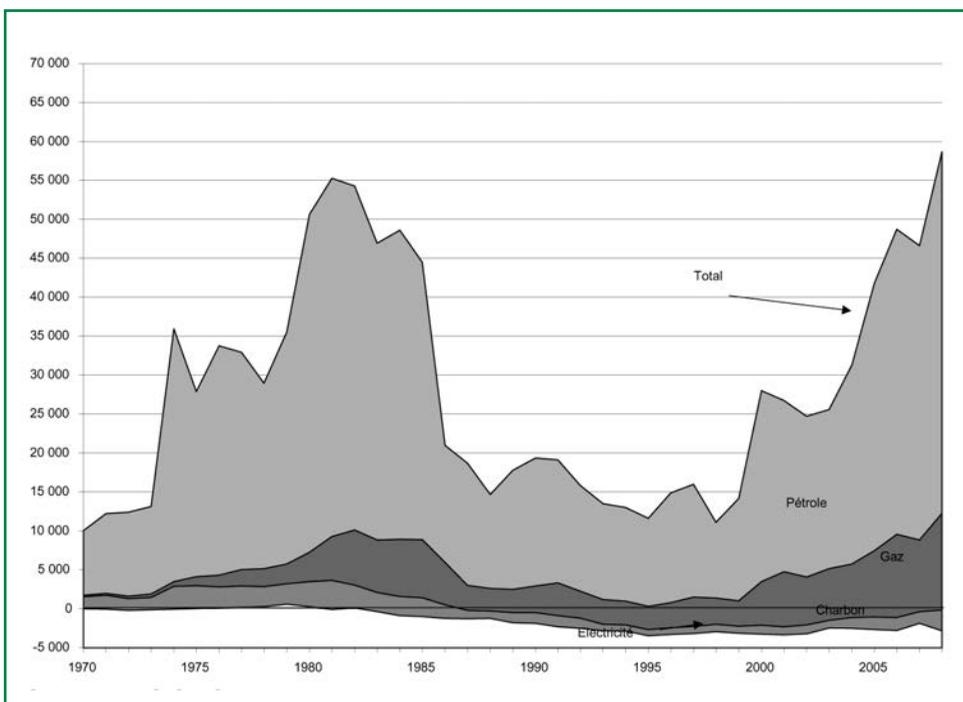
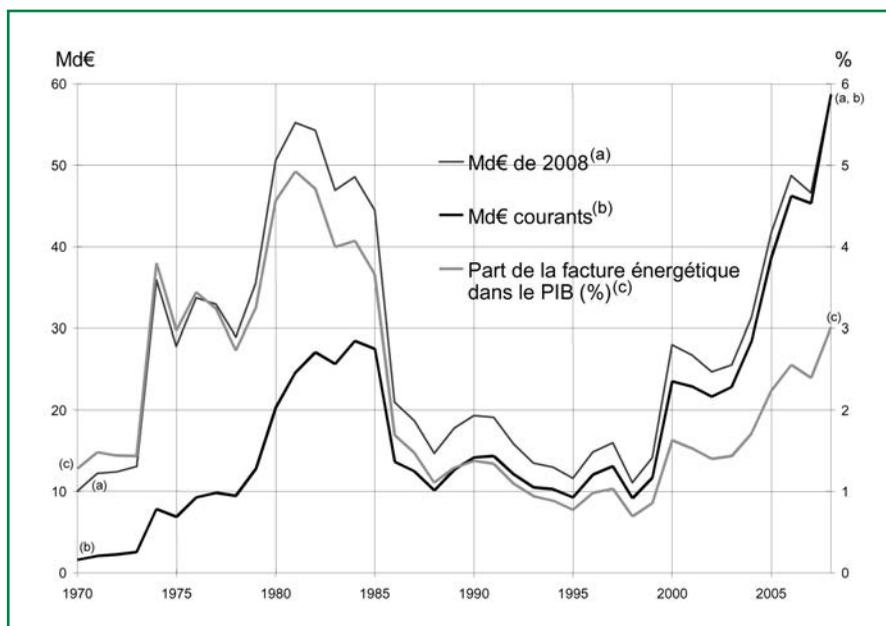
Source : SOeS





**Figure 25 : La facture énergétique de la France**

Source : SOeS



# La facture énergétique de la France en 2008

## La facture énergétique s'envole de 29 % et atteint près de 60 milliards d'euros

par **Bernard NANOT\***

FAITS ET CHIFFRES POUR 2008

Avec 58,7 milliards d'euros, la facture énergétique de la France s'envole en 2008. Elle s'aggrave de plus de 13 milliards (+29,4 %). Elle dépasse ainsi le record établi en 1981, après le second choc pétrolier (55,1 milliards d'euros d'aujourd'hui). Elle pèse toutefois moins lourd qu'à l'époque sur l'économie puisqu'elle ne représente plus que 3 % du produit intérieur brut, contre 4,9 % en 1981. L'aggravation de la facture énergétique explique à elle seule l'aggravation du déficit extérieur français. Hors énergie, la balance commerciale serait légèrement excédentaire ; avec l'énergie, elle est déficitaire de 55,7 milliards (cf. annexes, figure 1).

Les cours du pétrole ont poursuivi pendant tout le premier semestre leur folle ascension de 2007 jusqu'à tutoyer en juillet les 150 \$ le baril. Mais ensuite, la crise économique mondiale a cassé l'emballement de la demande et précipité l'effondrement des cours jusqu'à moins de 40 \$ le baril en décembre. L'évolution du dollar a cette année encore quelque peu amorti les secousses : le cours du pétrole montait quand le dollar s'affaiblissait, et il fléchissait quand le dollar se raffermissait. Les prix du gaz et du charbon ont suivi une évolution semblable. Et à cette hausse des cours s'est ajoutée une hausse des quantités importées, les températures ayant été moins exceptionnellement douces qu'en 2007.

Le montant de la facture correspond à la production nette de la population active française en 7 jours de travail contre 5,5 en 2007.

### FLAMBÉE DES PRIX AVANT LA CRISE

#### Produits pétroliers

Pour les cours pétroliers, l'année 2008 commence sur la lancée de la fin 2007. Le cours du Brent daté, principale référence utilisée dans les transactions, poursuit son ascension qui l'a porté de 54 dollars le baril en janvier à 96 \$/bl fin décembre. Comme en 2007, chaque événement qui peut être interprété comme une menace sur l'approvisionnement fait monter les cours, alors qu'aucune nouvelle rassurante n'a d'effets. Qui plus est, le pétrole fait figure de valeur refuge que stimule tout accès de faiblesse du dollar. Mais, plus fondamentalement, au-delà des aléas conjoncturels, la cause principale reste en fait la hausse de la consommation mondiale, impulsée par la puissante croissance de la Chine et d'autres pays émergents. Face à cette demande, l'offre a du mal à suivre. En partie pour des raisons techniques, les capacités de production inutilisées étant faibles. En partie aussi pour des raisons politiques, l'Organisation des pays exportateurs de pétrole ayant choisi de maintenir sa poli-

\* Sous-directeur de l'Observation de l'énergie et des matières premières (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer, en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat).

	1992	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Dubaï	17,2	16,1	26,3	22,8	24,1	26,8	33,8	49,4	61,6	68,4	93,9
Panier OPEP (1)	18,2	16,9	27,6	23,1	24,4	28,1	36,1	50,6	61,1	69,1	94,5
Brent daté	19,3	17,0	28,5	24,4	25,0	28,9	38,3	54,6	65,1	72,5	97,0
WTI	20,5	18,4	30,4	26,1	26,2	31,1	41,5	56,7	66,0	72,2	100,0

Tableau I – Cotations moyennes annuelles par type de pétrole brut (\$/bl).

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
En €/t	177,3	105,4	239,0	207,2	197,4	187,6	221,4	308,4	363,1	367,8	455,2
En €/bl	19,6	13,0	31,0	27,3	26,5	25,6	30,8	43,9	51,9	52,5	65,0

Tableau II – Cotations moyennes annuelles du Brent daté, en €.

	1992	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
En \$/bl	18,6	17,3	28,6	24,8	24,9	29,7	38,8	53,6	65,2	71,9	99,0
En €/t	110	97	228	203	194	193	229	316	381	385	496

Tableau III – Prix moyen annuel du pétrole brut importé.

tique de plafonds de production pour ne pas laisser baisser les cours. En juillet, le cours atteint ainsi 145 \$/bl, en hausse de 50 % en dollars par rapport à décembre (cf. annexes, figure 2).

Mais les signes de modération de la demande se font de plus en plus nets : les hausses de prix, appuyées par les programmes d'économies d'énergie liés à la lutte contre le changement climatique, ont amené une réduction de la consommation de la zone OCDE. De plus, les indices d'un ralentissement des économies occidentales se multiplient. Il devient évident que la crise ne se limitera pas au secteur financier et touchera l'économie « réelle », avec des répercussions sur la demande en énergie elle-même. Ces mauvaises nouvelles successives font cesser les anticipations à la hausse sur l'évolution de la demande en pétrole et les cours plongent jusqu'à 36 \$/bl fin décembre malgré les efforts des pays producteurs pour enrayer la baisse. Les annonces de l'Opep ne réussissent qu'à obtenir une reprise temporaire mi-septembre, puis une autre début janvier qui débouche sur une stabilisation des cours, entre 40 \$/bl et 50 \$/bl.

En moyenne mensuelle, le cours du Brent daté augmente ainsi de 45 % en dollars de janvier à juillet, puis s'effondre de 70 % de juillet à décembre. Exprimée en euros, la variation est moins forte, avec une moyenne de 62,5 €/bl en janvier, qui passe à 84,5 €/bl en juillet (+35 %), puis chute à 29,9 €/bl en décembre (-65 %).

La moyenne annuelle s'établit finalement à 97 \$/bl (+38 %) et 65 €/bl (+24 %). La dépréciation du dollar en début d'année a donc considérablement atténué les effets de la hausse du pétrole sur les économies européennes.

Il n'empêche que la hausse sur les prix des importations pétrolières a été forte, puisque le prix moyen du brut effectivement importé, exprimé en euros, a augmenté de 28,5 %, et que celui des produits raffinés importés a progressé de 25,5 % (cf. tableaux I, II, III et figure 3 des annexes).

### Gaz naturel

Le coût CAF (2) du gaz naturel importé suit en général le mouvement du prix du pétrole, avec un retard d'environ 5-6 mois, du fait de l'indexation des contrats de long terme. En conséquence, il répercute en 2008 la montée des cours pétroliers de la fin 2007 et du premier semestre 2008. Il connaît donc une forte hausse (environ +35 % en euros constants), qui s'inscrit dans une tendance à l'augmentation (doublement depuis 2000 en euros constants), où la stabilité de 2007 fait figure de pause. Ce n'est qu'au cours de 2009 que le prix devrait s'orienter à la baisse suite à la chute des cours pétroliers de l'été 2008.

### Charbon

Moins médiatique que le pétrole, le charbon connaît lui aussi une flambée des prix qui dure depuis 2003 et qui s'est fortement accentuée en 2008. En moyenne sur l'année, le prix spot du charbon vapeur affichait 149 \$/t sur le marché ARA (3), soit un bond de +72 % sur un an, après +36 % en 2007. Mesurée en euros, cette hausse est un peu atténuée (+61 % à 101 €/t CAF, après +24 % en 2007). L'année 2008 a été contrastée : après une ascension rapide, avec un record historique en juillet (220 \$/t), le prix entame depuis octobre une chute vertigineuse jusqu'à 82 \$ la tonne en décembre, soit une perte de 138 \$ en cinq mois (cf. annexes, figure 4).

(1) A partir du 16/06/05, nouvelle moyenne calculée à partir des prix de différents pétroles : Mélange Sahara, Minas, Iran Lourde, Basra Léger, Kuwait Export, Es Sider, Bonny Léger, Qatar Marine, Arabie Léger, Murban et BCF 17. En 2007 ont été ajoutés le Girassol d'Angola et l'Orient d'Equateur.

(2) Le prix du gaz importé est ici calculé comme le ratio « facture gazière, mesurée par les Douanes / quantités importées, déduites du bilan gazier du SOeS ». Ce ratio entre deux sources hétérogènes ne peut donner qu'un ordre de grandeur de l'évolution des prix.

(3) Anvers, Rotterdam, Amsterdam.

La flambée des prix s'explique principalement par une forte demande. En effet, entre 2002 et 2007, la consommation de charbon affichait une évolution annuelle moyenne d'environ +6 %, soit environ trois fois la croissance du gaz et deux fois celle du pétrole. D'une part, le charbon est une énergie dont les réserves prouvées sont très importantes, bien plus que celles du pétrole. D'autre part et surtout, il fait l'objet d'une forte demande chinoise de matières premières pour satisfaire une économie galopante, très dépendante du charbon.

Face à une telle demande, la chaîne logistique charbonnière s'avère sous-dimensionnée avec des capacités portuaires insuffisantes et de mauvaises conditions d'acheminement du charbon entre les mines et les ports. Après une détente provisoire sur les prix en 2005, les cours ont retrouvé un niveau élevé en 2006 (64 \$/t en moyenne) et 2007 (87 \$/t) puis se sont emballés en 2008 (149 \$/t). La pénurie de navires, particulièrement les « Capesize » utilisés pour le transport sur longue distance et mobilisés pour le transport de matières premières vers la Chine, a été un facteur déterminant dans la hausse du prix du fret, qui a encore enregistré des records historiques début juin 2008 (plus de 60 \$ pour le transport d'une tonne de charbon entre le port de Richards Bays (Afrique du Sud) et Rotterdam).

Face à une congestion chronique, touchant particulièrement le port de Newcastle en Australie, quelques pays d'Asie se sont tournés en 2007 vers l'Afrique du Sud, fournisseur habituel de l'Europe, ce qui a ajouté à la nervosité du marché. Au début de l'année 2008, les incidents se sont multipliés (tempêtes de neige en Chine, inondations en Australie, défaut d'approvisionnement d'électricité en Afrique du Sud, etc.), conduisant chaque fois à un renchérissement des cours. En juillet 2008, la tonne de charbon livrée sur le marché ARA dépassait la barre des 220 \$. Mais à partir de l'automne, et au même titre que les autres matières premières, sous l'effet de la crise économique, les prix décrochent de façon vertigineuse. Le fret finit l'année à environ 6 \$/t (toujours pour le transport d'une tonne de charbon entre l'Afrique du Sud et la zone ARA) et le prix CAF tombe en décembre à 82 \$/t. Cette tendance se poursuivra durant le premier trimestre 2009, avec en mars un prix moyen de moins de 60 \$ la tonne (environ 46 €/t).

### Electricité

Le prix de l'électricité exportée a fortement augmenté en 2008, avec un prix moyen (4) de 6,2 c€/kWh contre 3,7 c€/kWh en 2007 et 4,6 c€/kWh en 2006. Cette forte hausse du prix fait bien plus que compenser la baisse des quantités exportées.

### BAISSE GLOBALE DU VOLUME DES IMPORTATIONS

L'année 2007 avait été si douce que 2008 souffre de la comparaison. Pourtant l'indice de rigueur n'est que de 0,94, donc assez sensiblement inférieur à la moyenne de

la période 1976-2005 (1 par construction). Mais celui de 2007 n'était que de 0,87. Même si l'année 2008 a été plus douce que la moyenne, il a donc fallu chauffer davantage qu'en 2007. Et pour peu qu'elles aient une fonction de chauffage, les consommations non corrigées du climat enregistrent naturellement une augmentation. Il faut également prendre en compte que l'année 2008 était une année bissextile, ce qui justifie un accroissement de +0,3 % pour beaucoup de variables.

Les quantités de **pétrole brut importées** augmentent à nouveau (5) : après plusieurs baisses successives (-1 % en 2007, -2,6 % en 2006, -1,1 % en 2005), et malgré la forte hausse des prix, les quantités de brut importées augmentent de +2,6 %, à 83,2 millions de tonnes. En fait, depuis 1999, les importations de pétrole brut restent assez stables, fluctuant entre 80 et 86 millions de tonnes. Les grands équilibres se maintiennent, avec des approvisionnements qui continuent à se répartir presque à égalité entre quatre zones : les pays de l'ex-URSS (29 %), l'Afrique (29 %), le Moyen-Orient (22 %) et la Mer du Nord (20 %).

Le déclin des gisements de la Mer du Nord se poursuit, et les importations d'Iran se réduisent sensiblement. Les flux venant de l'ex-URSS sont globalement stables, mais avec une part plus grande pour la Russie et un recul pour le Kazakhstan et l'Azerbaïdjan. Ce sont surtout les pétroles africains qui progressent, avec une reprise du Nigeria et des augmentations sensibles de la Libye et l'Algérie.

Les exportations de **produits raffinés** (6) progressent de +12 %, alors que les importations restent au même niveau qu'en 2007. Le décalage entre le marché et les possibilités du raffinage s'aggrave : les raffineries françaises produisent trop de produits légers (essence et naphtha) pour notre marché et doivent exporter des excédents de plus en plus importants au fur et à mesure que notre consommation d'essence diminue. Les tendances à la baisse de la consommation d'essence qui apparaissent aux Etats-Unis menacent notre premier débouché (un tiers des exportations). Inversement, les raffineries ne produisent pas assez de gazole pour alimenter le marché national. Il faut donc en importer de plus en plus. Avec environ un tiers des importations directes, la Russie est notre premier fournisseur. De la même façon, les raffineries de France produisent du fioul lourd (FOL) destiné aux soutes maritimes internationales en excédent par rapport aux besoins nationaux et l'exportent, alors qu'il faut importer du fioul lourd peu riche en soufre.

Le solde global des **importations pétrolières**, en quantité, s'améliore légèrement :

- Les importations de brut ont augmenté de 0,8 Mtep (+1 %),
- Les importations de produits raffinés sont identiques (-0,2 %),

(4) CAF : coût, assurance, fret – Source DGDDI/DSEE

(5) Source Service de l'observation et des statistiques. Le pétrole est ici classé en fonction du pays où il a été extrait.

(6) Données estimées principalement à partir de celles des Douanes.

	TWh			% par rapport au total des entrées brutes		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008
Total des entrées brutes (transit inclus)	598,28	574,10	592,04	100,00	100,00	100,0
Total des sorties (transit inclus)	88,25	94,44	88,01	14,75	16,45	14,87
Total des entrées nettes (transit et exportations exclus)	510,03	479,66	504,03	85,25	83,55	85,13
Contrats de long terme	480,36	452,23	465,01	80,3	78,8	78,5
Russie	80,93	66,12	75,19	13,5	11,5	12,7
Norvège	147,03	153,16	163,95	24,6	26,7	27,7
Pays-Bas	96,18	90,23	92,92	16,1	15,7	15,7
Algérie	81,65	86,77	84,25	13,6	15,1	14,2
Égypte	25,23	12,77	11,22	4,2	2,2	1,9
Nigeria	5,84	5,45	4,61	1,0	0,9	0,8
Qatar		3,17	4,44	0,0	0,6	0,7
Swap*	41,60	29,58	22,24	7,0	5,2	3,8
Autres et indéterminés	1,89	4,98	6,20	0,3	0,9	1,0
Contrats de court terme	29,67	27,43	39,02	5,0	4,8	6,6
<b>GNL</b>	<b>154,32</b>	<b>144,84</b>	<b>149,73</b>	<b>25,8</b>	<b>25,2</b>	<b>25,3</b>

\* essentiellement : arrivée de gaz du Nigeria, pour le compte de l'Italie, compensant la fourniture à l'Italie par GDF-Suez de gaz ne transitant pas par la France.  
Source : SOeS.

Tableau IV – Approvisionnements en gaz en 2006, 2007 et 2008.

• Les exportations de produits raffinés ont augmenté de 2,8 Mtep (+11 %).

Globalement, le solde importateur s'est donc réduit d'environ 2 Mtep (-2,3 %).

Les importations de **gaz naturel** ont progressé de +5,8 % (après -5,6 % en 2007) : à 518,2 TWh, elles retrouvent un niveau équivalent à celui de 2006.

Le solde net des entrées-sorties de gaz naturel en France passe de 479,6 TWh en 2007 à 504,0 TWh en 2008. Il ne retrouve pas tout à fait le niveau de 2006, qui était de 510 TWh.

Le portefeuille des importations s'est peu modifié en 2008 par rapport à 2007 :

• Les importations en gaz naturel liquéfié (GNL) représentent un quart des entrées brutes ;

• Les importations couvertes par des contrats de long terme ont globalement augmenté de +2,8 % : les importations en provenance de Russie, qui avaient beaucoup baissé en 2007, progressent de près de 14 % mais ne retrouvent pas leur niveau de 2006 ; les importations en provenance de Norvège progressent de 7 %, elles représentent près du tiers des importations nettes totales ; les importations en provenance des Pays-Bas et d'Algérie connaissent des variations plus modestes. Les nouvelles provenances (Égypte, Nigeria, Qatar) restent des volumes faibles qui n'ont pas beaucoup varié entre 2007 et 2008 ;

• Les contrats de court terme ont été un peu plus sollicités en 2008 : ils représentent 7,7 % des entrées nettes de gaz naturel en 2008 contre 5,7 % environ en 2007 et en 2006 (près de 8 % en 2005) (cf. tableau IV).

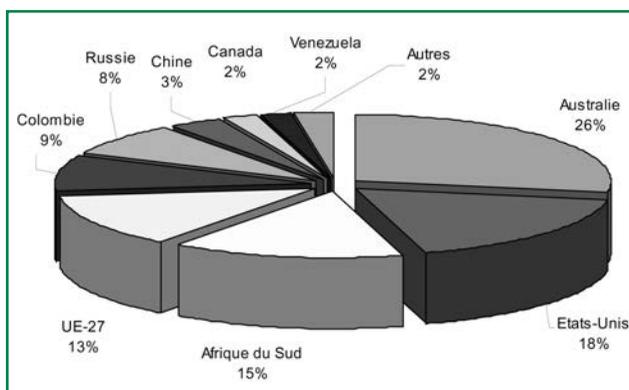
Les importations de **combustibles minéraux solides** s'élèvent à 22,8 millions de tonnes (Mt), soit une forte progression d'environ 13 % par rapport à 2007. La houille, principal produit importé avec une part de marché d'environ 93 %, totalise 21,3 Mt (principalement du charbon vapeur destiné à la production d'électricité), soit une hausse de +12,3 %. Mesurées en mil-

lion de tonne équivalent pétrole (Mtep), les importations de CMS s'élevaient en 2008 à 14,2 Mtep, contre 12,6 Mtep un an auparavant, soit un bond de +12,7 %. S'agissant de l'origine géographique des importations, l'Australie continue d'occuper le 1er rang de nos fournisseurs de charbon (28 %), principalement du charbon à coke destiné aux cokeries. L'année 2008 est marquée par une envolée de nos importations en provenance des Etats-Unis qui voient ses tonnages plus que doubler, dépassant la barre des 4 Mt, et place ce pays au deuxième rang de nos fournisseurs, devant l'Afrique du Sud (15 % de parts de marchés) et la Colombie (9 %). A eux seuls, ces quatre pays assurent plus des deux tiers de l'approvisionnement français de charbon. Les importations en provenance de Russie gagnent +62 %, pour un total de 1,8 Mt, et confirme ainsi l'ascension du pays sur le marché international de la houille. Malgré une hausse de 9 %, les importations en provenance de Chine maintiennent une part de marché constante, de 3 %, contre 7 % à 9 % au début des années 2000. La demande intérieure du pays et sa réglementation contraignante ne lui permettent pas d'expédier davantage de charbon (cf. graphique 1).

Il convient de noter que la part de l'UE (15 %) est probablement comprise entre 6 % et 13 %, en raison d'importantes quantités de charbon en provenance de Belgique (7 % du total, d'après les déclarations des Douanes), pays non producteur de charbon (cf. annexes, figure 5).

Après un pic exceptionnel à 77 TWh en 2002, le solde des échanges extérieurs physiques (7) d'électricité s'est contracté de façon quasi continue de 2003 à 2007, s'éta-

(7) Dans le bilan, les flux utilisés pour déterminer les importations et les exportations d'électricité concernent les flux **physiques** et non les flux contractuels. Ils sont la somme des flux transitant sur les lignes RTE (lignes d'interconnexion – référencées par l'UCTE – et autres lignes transfrontalières – non référencées par l'UCTE), des flux transitant sur les autres réseaux et des compensations au titre des droits d'eau.



Graphique 1 – Importations de combustibles minéraux solides par pays d'origine en 2008 (22,8 Mt).

blissant à 56,7 TWh en 2007. L'année 2008 enregistre un nouveau recul, le solde physique s'établissant à 48 TWh, soit 29 TWh de moins qu'en 2002. Il faut remonter à 1990 pour retrouver un solde inférieur (46 TWh). Cette évolution résulte d'une baisse de 8,8 TWh des exportations, alors que les importations sont quasiment stables à 10,7 TWh. Hormis 2007, il faut remonter à l'année 1981 pour observer un niveau d'importations supérieur (10,9 TWh). Les importations physiques d'électricité représentent ainsi 2,2 % de l'énergie appelée en 2008, comme en 2007, après 1,8 % en 2006 et 1,7 % en 2005. Inversement, les 58,7 TWh d'exportations physiques sont très en retrait par rapport aux niveaux prévalant depuis le début des années 2000 : il faut remonter au début des années 1990 pour retrouver un niveau d'exportations physiques inférieur (58,5 TWh en 1992). En 2008, les exportations physiques d'électricité représentent ainsi 10,7 % de la production totale nette française d'électricité, après 12,4 % en 2007, le maximum ayant été atteint en 2002, avec 15,1 %.

Avec 110,3 %, le taux d'indépendance énergétique relatif à l'électricité (ratio de la production primaire aux disponibilités) recule de 2,3 points, poursuivant sa tendance à la baisse quasi continue depuis le pic à 118,1 % enregistré en 2002.

### ÉVOLUTION DE LA FACTURE PAR TYPE D'ÉNERGIE : +9,7 MILLIARDS POUR LE PÉTROLE, +3,5 MILLIARDS POUR LE GAZ

La facture pétrolière est de 46,4 milliards d'euros, en hausse de 26 %, soit +9,7 milliards. L'augmentation vient presque intégralement des importations de pétrole brut (+9,3 milliards). Pour les produits raffinés, en effet, importations et exportations progressent quasiment de la même façon (19,7 milliards d'importations, 13,9 d'exportations, en hausse respectivement de 4 et 3,6 milliards).

La facture gazière est de 12,4 milliards d'euros. Elle s'aggrave de 3,5 milliards (+39 %).

La facture charbonnière est de 2,7 milliards. La hausse est de +83 %, mais elle ne représente que 1,2 milliards. L'électricité continue à être un produit d'exportation qui a rapporté au pays 2,8 milliards d'euros, contre 1,8 en 2007. La hausse est de +56 % : la hausse des prix a plus que compensé la réduction des quantités exportées.

### LA FACTURE PÈSE 3,0 % DU PIB DE LA FRANCE, OU L'ÉQUIVALENT DE 7 JOURS DE TRAVAIL POUR L'ENSEMBLE DES FRANÇAIS

La facture énergétique représente en 2007, 3,0 % du PIB national. C'est nettement plus qu'en 2007 (2,4 %) et que toutes les années récentes. Il faut remonter à la période des premier et deuxième chocs pétroliers (1974-1985) pour trouver un impact supérieur de la facture énergétique sur l'économie française, avec des maximums en 1974 (3,8 %) et surtout 1981 (4,9 %).

Les ménages, pour qui les dépenses énergétiques sont difficilement compressibles, ont nettement souffert des hausses de prix. Les dépenses moyennes par ménage étaient en 2007 de 1 400 € pour l'énergie domestique et 1 300 € pour les carburants. Au total, cela représentait 7,0 % de leur budget (ou 5,4 % de leur consommation effective, où l'on ajoute notamment les soins pris en charge par la sécurité sociale) pour une somme de 73 milliards d'euros. En 2008, la hausse des prix sur ces postes a été en moyenne de près de 10 % pour l'énergie domestique et de 12 % pour les carburants et lubrifiants. A consommation égale, cela représentait pour un ménage une dépense supplémentaire de 140 € pour la maison et 156 € pour les carburants. Naturellement, ce sont les produits pétroliers qui ont le plus évolué. Le fioul domestique a augmenté de 30 % entre janvier et juillet avant de plonger de 40 % jusqu'en décembre et finir l'année 20 % au-dessous du niveau de janvier. Moins sensibles à cause du poids de la taxe intérieure sur les produits pétroliers, les carburants ont augmenté de 15 % de janvier à juillet avant de se replier de 26 % de juillet à décembre et finir 15 % en-dessous du niveau de janvier.

Compte tenu de la durée moyenne du travail, la facture énergétique correspond à la production nette de la population active de France en sept jours de travail, contre cinq jours et demi en 2007. La hausse des prix de l'énergie a donc représenté l'équivalent d'un jour et demi de travail des Français.

Le poids relatif de la facture énergétique dans les importations s'accroît de façon sensible (16 % contre 13 % en 2007). En 2008, il fallait en moyenne 52 jours d'exportations pour compenser les importations énergétiques (contre 41 jours en 2007). Là encore, il faut remonter à la période des premier et second chocs pétroliers (1974-1985) pour trouver une facture énergétique plus lourde relativement à l'économie.

## Tableaux relatifs à la facture énergétique (1)

## 1 – Commerce extérieur de l'énergie en 2008 (en M€, données brutes)

	Importations (CAF)			Exportations (FAB)			Facture (Import-Export)			
	2007	2008	07-08 (%)	2007	2008	07-08 (%)	2007	2008	07-08 (%)	07-08 (M€)
CMS	1 643	2 912	+77,3	184	246	+34,0	1 459	2 666	+82,7	+1 207
Pétrole brut	31 272	40 598	+29,8	1	0	-54,6	31 271	40 598	+29,8	+9 327
Produits pétroliers raffinés	15 760	19 734	+25,2	10 305	13 906	+34,9	5 455	5 828	+6,8	+373
<b>Total pétrole</b>	<b>47 032</b>	<b>60 332</b>	<b>+28,3</b>	<b>10 306</b>	<b>13 906</b>	<b>+34,9</b>	<b>36 726</b>	<b>46 426</b>	<b>+26,4</b>	<b>+9 700</b>
Gaz	8 022	12 807	+59,6	211	374	+77,8	8 964	12 433	+38,7	+3 468
<b>Total pétrole et gaz</b>	<b>55 055</b>	<b>73 139</b>	<b>+32,8</b>	<b>10 516</b>	<b>14 280</b>	<b>+35,8</b>	<b>45 691</b>	<b>58 859</b>	<b>+28,8</b>	<b>+13 168</b>
Électricité	1 250	2 214	+77,1	3 071	5 063	+64,8	-1 821	-2 848	+56,4	-1 027
<b>TOTAL</b>	<b>57 947</b>	<b>78 265</b>	<b>+35,1</b>	<b>13 772</b>	<b>19 589</b>	<b>+42,2</b>	<b>45 328</b>	<b>58 676</b>	<b>+29,4</b>	<b>+13 348</b>

## 2 – Comparaison de la facture énergétique avec quelques agrégats économiques

	1973	1980	1985	1990	1997	2000	2005	2006	2007	2008
Facture énergétique CAF/FAB										
Md€ courants	2,6	20,3	27,5	14,2	13,1	23,5	38,07	46,3	45,3	58,7
Md€ constants 2008	13,1	50,6	44,5	19,4	16,0	28,0	41,8	48,7	46,6	58,7
Part des importations d'énergie CAF dans les importations totales (CAF)	12,4 %	26,4 %	22,1 %	9,4 %	8,0 %	9,6 %	13,2 %	14,3 %	13 %	16,4 %
Nombre de jours d'exportations FAB couvrant la facture énergétique	-	99	73	29	19	26	40	43	41	52
Part de la facture énergétique dans le PIB	1,44 %	4,56 %	3,66 %	1,38 %	1,04 %	1,63 %	2,24 %	2,56 %	2,40 %	3,01 %
Cours du dollar US (en euro) (*)	0,679	0,644	1,370	0,830	0,890	1,085	0,804	0,797	0,731	0,683

(\*) au taux fixe de 1 euro pour 6,55957 FF avant 1999.

## 3 – Prix moyens (CAF) des énergies importées, en € ou US \$ courants

	1973	1980	1985	1986	1990	1995	1997	2000	2005	2006	2007	2008
CMS (en €/t)	22	42	80	67	55	48	55	52	78	80	81	128
Pétrole brut :												
- en €/t	18	155	281	118	136	97	126	85	316	381	386	496
- en \$/bl	4	33	28	15	22	17	19	13	54	65	72	99
Produits pétroliers raffinés (en €/t)	31	160	295	150	172	132	174	130	375	435	446	559
Gaz naturel (en c€/kWh) (*)	0,09	0,73	1,77	1,26	0,79	0,68	0,82	0,73	1,49	1,99	1,87	2,62

(\*) Ratio « facture gazière source Douanes/quantités importées, source SOeS, bilan gazier » : ce ratio entre deux statistiques indépendantes ne vise qu'à donner un ordre de grandeur de l'évolution des prix.

## 4 – Prix moyens (CAF) des énergies importées, en € constants 2008 (2)

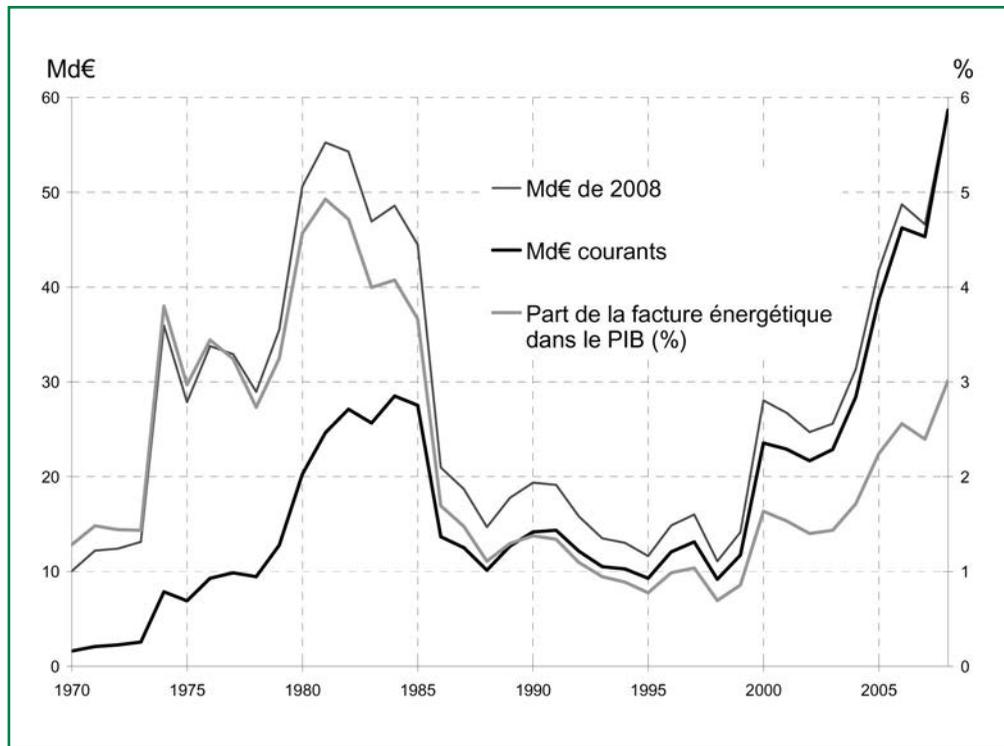
	1973	1980	1985	1986	1990	1995	1997	2000	2005	2006	2007	2008
CMS (en €/t)	113	105	129	103	75	60	67	62	84	84	83	128
Pétrole brut (€/t)	89	388	454	181	186	121	154	103	341	401	397	496
Produits pétroliers raffinés (en €/t)	156	399	477	230	235	165	212	157	405	458	458	559
Gaz naturel (en c€/kWh)	0,45	1,82	2,87	1,94	1,08	0,85	0,99	0,88	1,61	2,10	1,93	2,62

(1) Données provisoires pour 2008.

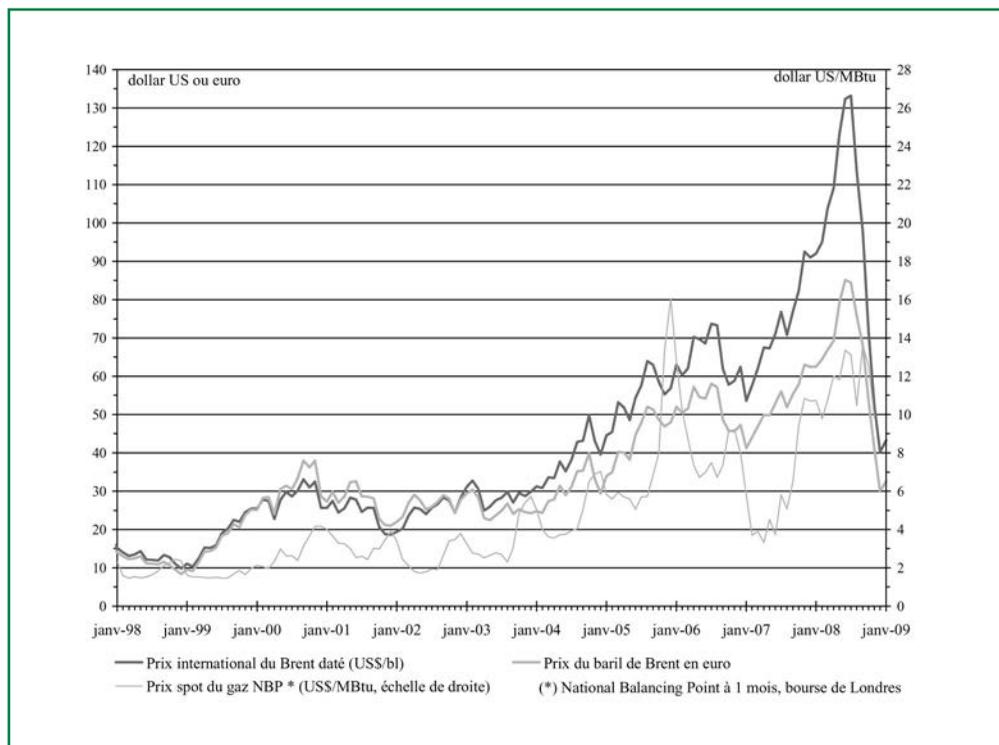
(2) Déflateur utilisé : prix du PIB total.

## ANNEXES

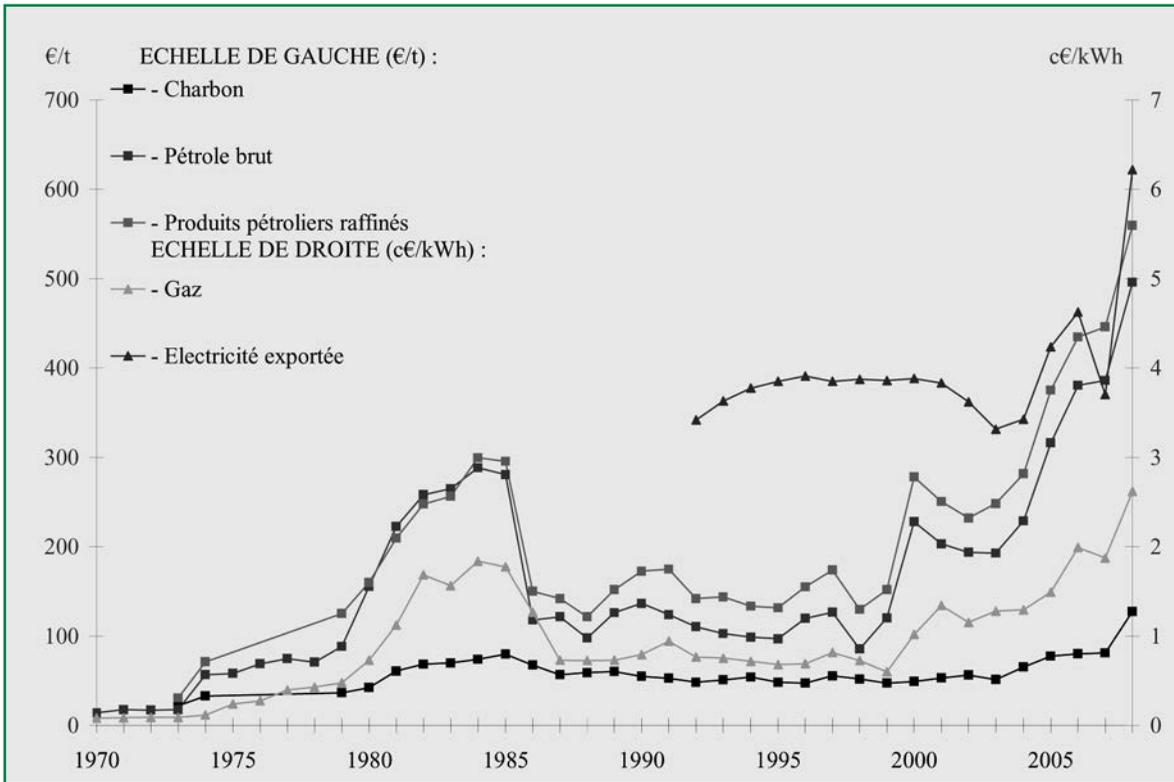
**Figure 1 : Facture énergétique de la France.**



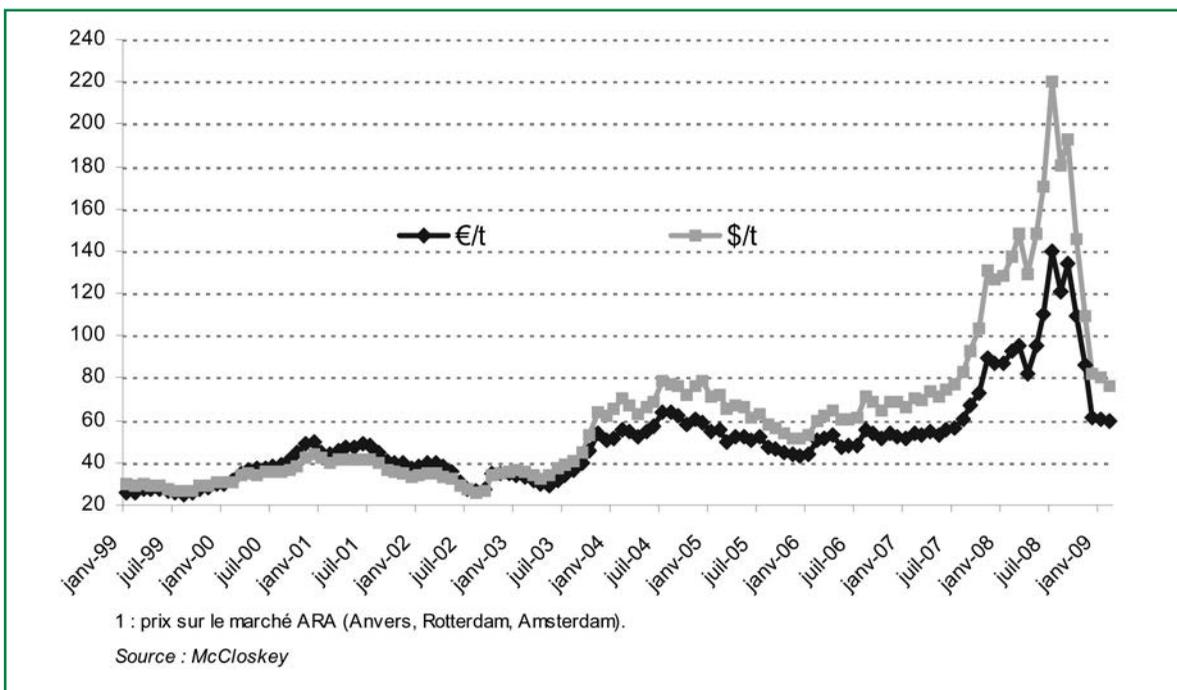
**Figure 2 : Prix moyen mensuel du baril de pétrole, en dollar US et en euro (courants) et prix spot du gaz en dollar US.**



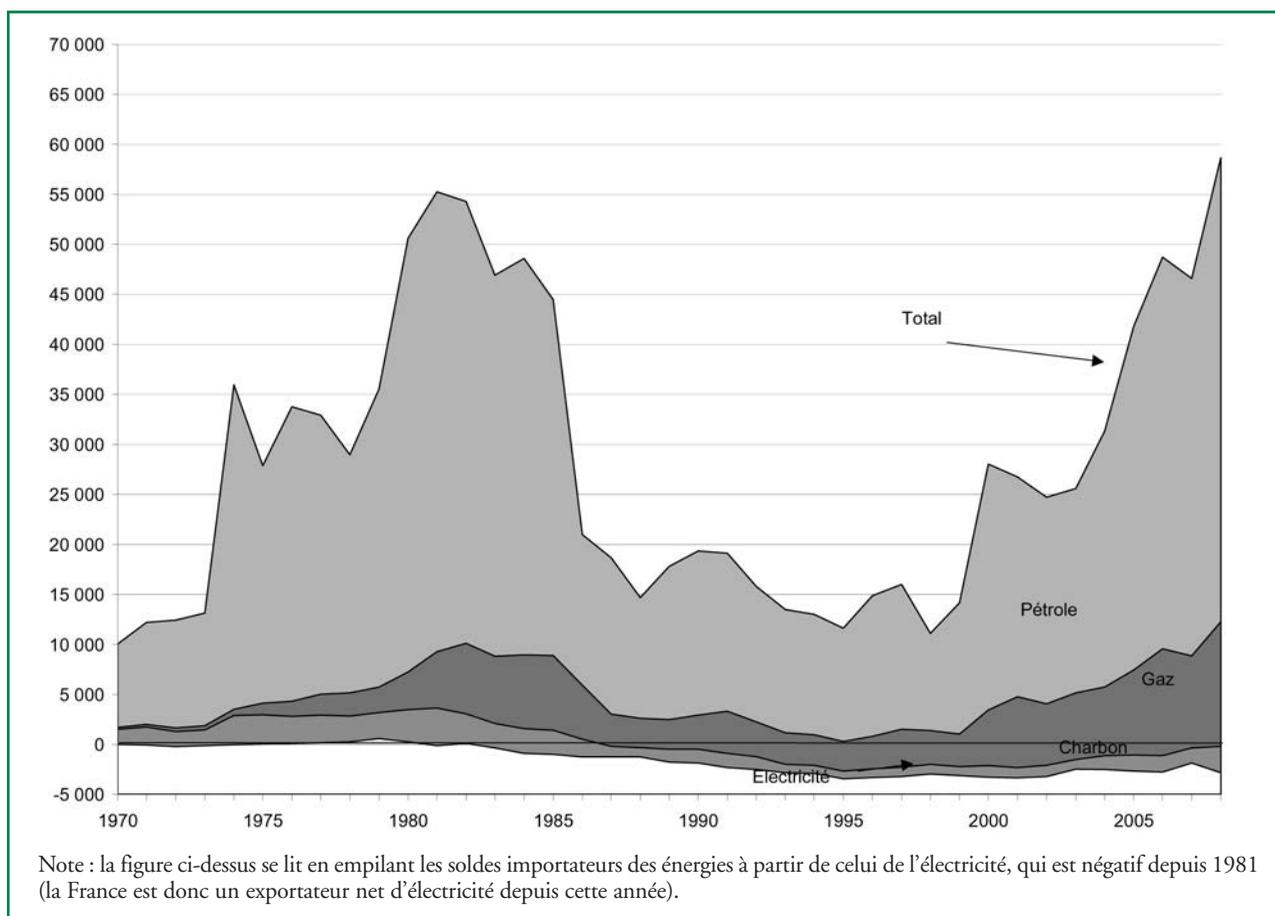
**Figure 3 : Prix moyens annuels des énergies importées et exportées en euros 2008 (€/t ou c€/kWh).**



**Figure 4 : Prix spot<sup>1</sup> du charbon vapeur.**



**Figure 5 : La facture énergétique déclinée par type d'énergie (en M€ 2008).**



# L'électricité en 2008

par Sylvie SCHERRER\*

## LA CONSOMMATION

La consommation d'électricité primaire corrigée du climat progresse de +2,4 % à 469,0 TWh, après +1,0 % en 2007 et +0,9 % en 2006. L'indice de rigueur remonte cette année à 0,941, après un niveau bas en 2007 (0,870), retrouvant un niveau voisin de celui de 2006 (0,945). Il entraîne une correction climatique de +2,9 TWh, après -7,1 TWh en 2007, année de très forte correction climatique. En données non corrigées du climat, la consommation d'électricité primaire progresse de +3,3 % en 2008, atteignant 466,1 TWh.

La consommation intérieure totale corrigée du climat (énergie appelée) progresse de +2,1 %, dont 0,3 point dû au fait que 2008 était une année bissextile, après +1,3 % en 2007 et -0,6 % en 2006.

La consommation finale énergétique corrigée du climat est en hausse de +2,1 %, après +0,7 % en 2007 et +1,5 % en 2006. En données réelles, la hausse est plus forte, s'établissant à +3,1 %, après un recul de -0,4 % en 2007 et une progression de +1,0 % en 2006.

La tendance à la hausse de la consommation du *résidentiel-tertiaire* (les deux-tiers de l'ensemble) ne se dément toujours pas cette année : elle s'inscrit ainsi en forte progression, tant en données réelles (+5,4 %) qu'en données corrigées du climat (+3,8 %).

La consommation d'électricité dans *l'industrie et la sidérurgie* poursuit sa tendance à la baisse, avec un rythme qui s'intensifie avec la dégradation de la conjoncture industrielle : -1,8 %, après -0,4 % en 2007 et -1,0 % en 2006. Dans les *transports ferroviaires et urbains*, la consommation d'électricité croît de +4,1 %, après une progression de +0,7 % en 2007.

\* Sous-direction de l'observation de l'énergie et des matières premières, SOeS, MEEDDM.

## LA PRODUCTION

La production brute d'électricité primaire s'établit à 514,1 TWh, après 507,9 TWh en 2007, soit +1,2 %. Elle est assurée à 86 % par le nucléaire, à 13 % par l'hydraulique et à 1 % par l'éolien. La hausse de +1,2 % enregistrée en 2008, soit +6,3 TWh, fait suite à une baisse de même ampleur en 2007 (-1,3 %).

- la contribution du parc *nucléaire* atteint 439,5 TWh, en baisse de -0,1 % (soit -0,3 TWh), après -2,3 % en 2007 et -0,3 % en 2006.

- la *production hydraulique* se reprend de 4,9 TWh, soit +7,6 %, après +3,4 % en 2007 et +8,7 % en 2006. Elle s'élève à 68,9 TWh, un niveau considéré comme « normal », après plusieurs années très déficitaires.

- la *production éolienne* atteint 5,7 TWh, après 4,0 TWh en 2007 et 2,2 TWh en 2006 ; en trois ans, la production d'électricité d'origine éolienne a ainsi été multipliée par 6.

La production brute thermique classique recule de 1,7 TWh, à 60,4 TWh (-2,7 %). Cette baisse vient entamer partiellement la hausse de +3,0 % observée en 2007 : le thermique classique constituant le terme de bouclage, elle a été rendue possible (malgré la croissance de la demande et l'effritement du nucléaire) par le recul des échanges physiques (-8,7 TWh), la plus grande disponibilité de l'hydraulique (+4,8 TWh) et, dans une moindre mesure, par la hausse de la production éolienne (+1,7 TWh). La part de l'électricité thermique à flamme dans la production totale atteint 10 %.

La production totale nette d'électricité s'élève à 549,1 TWh, soit +0,8 % par rapport à 2007. Elle se répartit entre 418,3 TWh nucléaires (76,2 %), 68,1 TWh hydrauliques (12,4 %), 56,9 TWh thermiques classiques (10,4 %) et 5,7 TWh éoliens et photovoltaïques (1,0 %).

## Bilan statistique

SYLVIE SCHERRER

### Production brute et consommation d'électricité (Unité : TWh) (1)

	1973	1985	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008 p
<b>PRODUCTION NATIONALE</b>	<b>182,4</b>	<b>344,3</b>	<b>420,1</b>	<b>493,2</b>	<b>540,8</b>	<b>576,2</b>	<b>574,6</b>	<b>569,9</b>	<b>574,5</b>
Hydraulique, Éolien et solaire photovoltaïque	48,1	64,3	58,3	76,7	72,5	58,0	64,1	68,2	74,7
Thermique nucléaire	14,8	224,1	313,7	377,2	415,2	451,5	450,2	439,7	439,5
Thermique classique	119,5	55,9	48,2	39,2	53,1	66,7	60,2	62,0	60,4
<b>SOLDE DES ECHANGES</b>	<b>-3,0</b>	<b>-23,4</b>	<b>-45,8</b>	<b>-69,8</b>	<b>-69,5</b>	<b>-60,3</b>	<b>-63,3</b>	<b>-56,7</b>	<b>-47,9</b>
Importations	4,7	5,5	6,7	2,9	3,7	8,1	8,5	10,8	10,8
Exportations	-7,6	-28,9	-52,4	-72,7	-73,2	-68,4	-71,9	-67,5	-58,7
<b>POMPAGES</b>	<b>-0,2</b>	<b>-2,5</b>	<b>-4,9</b>	<b>-4,2</b>	<b>-6,6</b>	<b>-6,6</b>	<b>-7,5</b>	<b>-7,7</b>	<b>-6,5</b>
<b>CONSOMMATION DES AUXILIAIRES</b>	<b>-7,9</b>	<b>-15,7</b>	<b>-19,9</b>	<b>-21,8</b>	<b>-24,1</b>	<b>-26,0</b>	<b>-25,7</b>	<b>-25,4</b>	<b>-25,4</b>
<b>CONSOMMATION INTERIEURE (2)</b>	<b>171,3</b>	<b>302,7</b>	<b>349,6</b>	<b>397,3</b>	<b>440,6</b>	<b>483,2</b>	<b>478,1</b>	<b>480,0</b>	<b>494,7</b>
dont :									
Pertes de réseau	11,4	23,3	26,6	29,4	29,9	32,2	31,8	32,3	32,6
Basse Tension	45,1	113,8	127,9	145,5	159,7	185,7	189,1	188,9	190,3
Haute et Moyenne Tension	114,8	165,6	195,1	222,4	250,9	265,2	257,2	260,8	262,7

p : provisoire

(1) : 1 TWh = 1 milliard de kWh

(2) : Consommation intérieure ou Energie appelée (non corrigée du climat) = Production nationale + Solde des échanges - Pompages - Consommation des auxiliaires.

Champ : France métropolitaine

Source : SOeS

### Capacité de production d'électricité Puissance maximale en MW (1) en service au 31/12

	2002	2003	2005	2006	2007	2008
Nucléaire	63 273	63 363	63 260	63 260	63 260	63 260
Thermique classique	28 197	27 979	26 456	25 687	25 546	25 500
Hydraulique	25 492	25 454	25 350	25 362	25 371	25 270
Éolien	133	222	723	1 413	2 444	3 500
Photovoltaïque	8	9	13	15	25	67
<b>TOTAL</b>	<b>117 103</b>	<b>117 027</b>	<b>115 802</b>	<b>115 737</b>	<b>116 646</b>	<b>117 597</b>

(1) : 1 MW = 1 millier de kW

Champ : France métropolitaine

Source : SOeS

### Consommation finale d'électricité par secteur (Unité : TWh) (1)

	1973	%	1985	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	%
Sidérurgie	11,7	7,8	9,9	10,5	10,4	11,1	11,0	11,9	11,6	11,9	2,7 %
Industrie	72,3	47,9	86,6	105,0	114,1	127,4	126,3	124,0	123,8	121,0	27,7 %
Résidentiel-Tertiaire (2)	56,9	37,7	140,8	176,6	211,5	237,2	267,4	274,9	278,7	289,2	66,1 %
Agriculture	3,5	2,3	3,7	5,0	2,5	2,7	3,4	3,5	3,2	3,2	0,7 %
Transports urbains et ferroviaires	6,4	4,2	7,4	8,3	8,6	10,4	11,9	12,1	12,2	12,2	2,8 %
<b>TOTAL (2)</b>	<b>150,8</b>	<b>100</b>	<b>248,4</b>	<b>305,4</b>	<b>347,1</b>	<b>388,8</b>	<b>420,0</b>	<b>426,4</b>	<b>429,5</b>	<b>437,5</b>	<b>100 %</b>

p : provisoire

(1) : 1 TWh = 1 milliard de kWh

(2) : corrigée du climat (nouvelle méthode de correction climatique, voir chapitre sur le bilan énergétique)

Champ : France métropolitaine

Source : SOeS

**Prix de l'électricité dans l'habitat (tarif bleu d'EDF)***Prix de 100 kWh pour une consommation type donnée (1)**Unité : euro courants TTC (2)*

			1985	1990	1995	2000	2006	2007	2008
<b>Puissance souscrite</b>	<b>Consommation annuelle</b>	<b>dont en heures creuses (3)</b>							
<b>Simple tarif</b>									
3 kVA	1 200 kWh	-	14,12	14,53	15,57	14,40	14,98	15,18	15,40
6 kVA	1 700 kWh	-	14,55	14,37	15,38	13,68	14,22	14,39	14,60
<b>Double tarif</b>									
6 kVA	3 500 kWh	1 300 kWh	12,16	12,26	13,19	11,68	12,10	12,25	12,43
9 kVA	7 500 kWh	2 500 kWh	11,38	11,70	12,72	11,36	11,78	11,92	12,10
12 kVA	13 000 kWh	5 000 kWh	10,61	10,99	11,97	10,75	11,14	11,28	11,44

(1) : Le prix comprend l'abonnement et les kWh consommés. Il est obtenu par moyenne annuelle des prix en région parisienne.  
(2) : TVA et taxes perçues pour le compte des collectivités locales incluses.  
(3) : La plage d'heures creuses est de huit heures débutant entre 22 heures et 23 heures 30.  
Source : SOeS d'après EDF

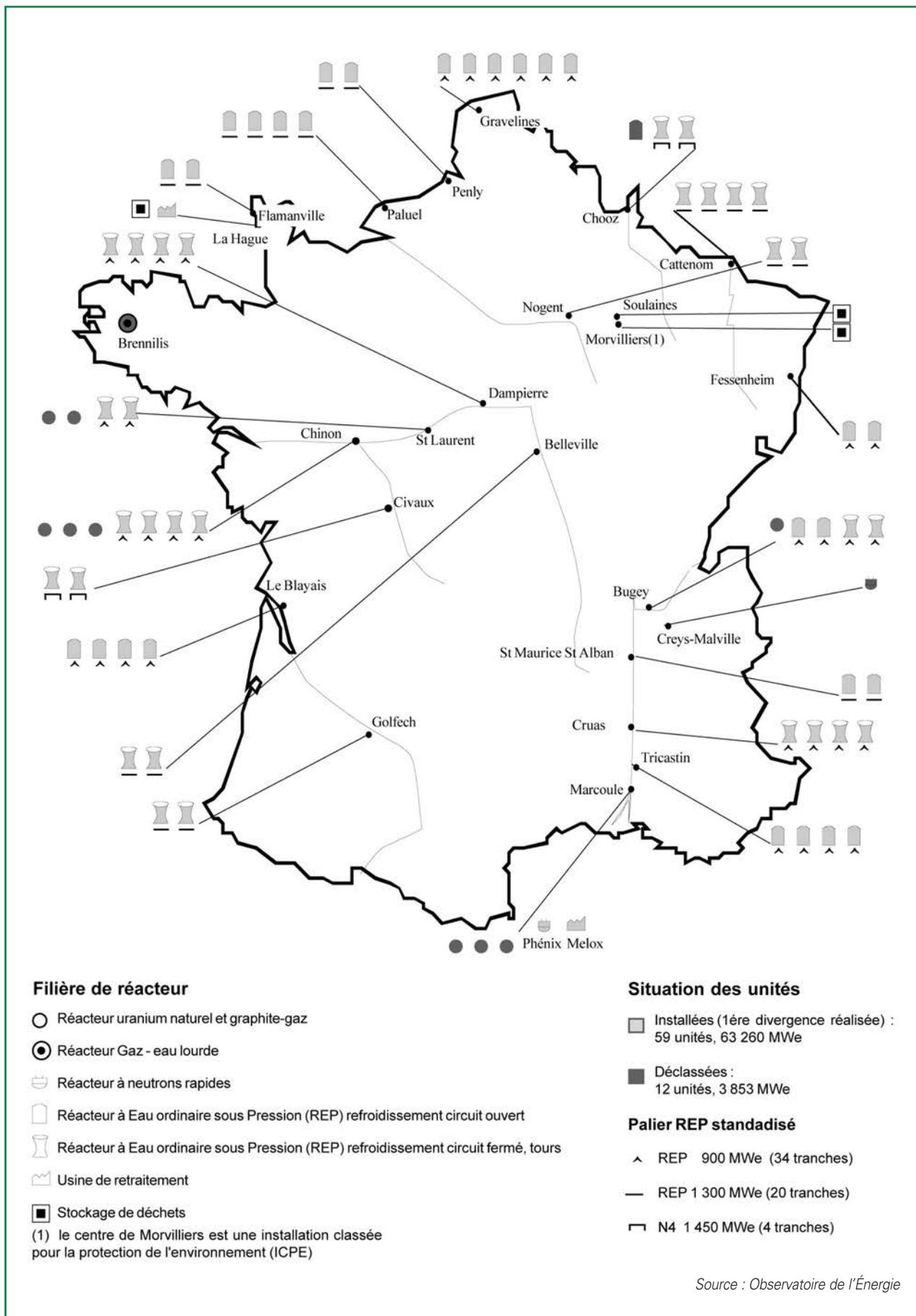
**Prix de l'électricité dans l'industrie (tarif vert A d'EDF)***Prix de 100 kWh pour une consommation type donnée (1)**Unité : euro courants hors TVA (2)*

	1985	1990	1995	2000	2006	2007	2008
<b>Client du tarif « A5 » - option base, moyennes utilisations</b> 15 kV - 1 000 kW pendant 3 000 heures Pointe=230, HPH=1 080, HCH=350, HPE=1 060, HCE=280	7,63	7,79	7,90	6,63	6,88	6,98	7,26
<b>Client du tarif « A5 » - option base, longues utilisations</b> 60/90 kV - 10 000 kW pendant 6 000 heures Pointe=340, HPH=1 610, HCH=1 250, HPE=1 700, HCE=1 100	5,56	5,81	6,05	5,13	5,31	5,39	5,61

(1) : Le prix comprend les primes fixes et les kWh consommés. Il est obtenu par moyenne annuelle des prix en région parisienne.  
HPH = Heures Pleines Hiver, HCH = Heures Creuses Hiver, HPE = Heures Pleines Été, HCE = Heures Creuses Été.  
(2) : Taxes perçues pour le compte des collectivités locales incluses.  
Source : SOeS d'après EDF

## LES SITES NUCLÉAIRES EN FRANCE : SITUATION AU 1<sup>er</sup> JANVIER 2009

SYLVIE SCHERRER



# Le gaz naturel en France : les principaux résultats en 2008

par Véronique PAQUEL\*

## Industrie du gaz

Production, disponibilité et répartition du gaz (\*)

(unité : GWh)

	1973	1990	2000	2006	2007	2008 (p)
<b>A. Production (a)</b>	<b>156 328</b>	<b>68 954</b>	<b>47 511</b>	<b>41 045</b>	<b>38 653</b>	<b>37 118</b>
Gaz naturel	79 979	31 282	17 400	12 573	11 108	10 101
Grisou	1 298	1 227	2 044	1 105	721	377
Gaz manufacturé	2 731	-	-	-	-	-
Gaz de cokerie	26 954	15 590	10 974	9 769	9 120	8 969
Gaz de haut fourneau et de convertisseur	45 366	20 855	17 093	17 597	17 704	17 670
<b>B. Importations</b>	<b>98 704</b>	<b>318 765</b>	<b>471 138</b>	<b>518 805</b>	<b>489 709</b>	<b>518 190</b>
dont :						
- des Pays-Bas	80 704	42 326	55 524	96 181	90 235	92 636
- d'Algérie	18 000	104 399	112 944	81 651	86 766	84 246
- de Norvège	-	63 117	140 264	147 034	153 161	164 011
- de la Russie	-	108 923	133 586	81 177	66 117	75 190
- divers	-	-	28 820	112 761	93 431	102 107
<b>C. Variation des stocks + pertes à la transformation</b>	<b>4 193</b>	<b>22 074</b>	<b>19 763</b>	<b>11 676</b>	<b>-5 635</b>	<b>-934</b>
<b>D. Disponible brut (A + B - C)</b>	<b>250 839</b>	<b>365 645</b>	<b>498 886</b>	<b>548 174</b>	<b>533 997</b>	<b>556 242</b>
<b>E. Chauffage des fours et autres usages internes</b>	<b>33 383</b>	<b>15 445</b>	<b>14 349</b>	<b>17 065</b>	<b>16 637</b>	<b>16 192</b>
<b>F. Gaz non comptabilisé</b>	<b>30 184</b>	<b>6 991</b>	<b>19 028</b>	<b>5 383</b>	<b>7 693</b>	<b>3 909</b>
<b>G. Disponible net (D - E - F)</b>	<b>187 272</b>	<b>343 209</b>	<b>465 509</b>	<b>525 726</b>	<b>509 667</b>	<b>536 141</b>
<b>Répartition du gaz disponible</b>						
<b>Usages domestiques</b>	<b>45 185</b>	<b>85 138</b>	<b>123 000</b>	<b>77 778</b>	<b>81 189</b>	<b>85 248</b>
dont : Gaz naturel	37 681	85 138	123 000	77 778	81 189	85 248
<b>Usages commerciaux et assimilés</b>	<b>24 420</b>	<b>78 879</b>	<b>117 154</b>	<b>205 925</b>	<b>187 826</b>	<b>198 532</b>
dont : Gaz naturel	21 860	78 879	117 154	205 925	187 826	198 532
<b>Usages industriels (b)</b>	<b>116 509</b>	<b>175 342</b>	<b>216 531</b>	<b>232 446</b>	<b>229 699</b>	<b>237 096</b>
Gaz carburant	137	2	24	800	900	1 100
Exportations	1 021	3 848	8 800	8 777	10 053	14 164
<b>Total réparti</b>	<b>187 272</b>	<b>343 209</b>	<b>465 509</b>	<b>525 726</b>	<b>509 667</b>	<b>536 141</b>

(\*) Ce tableau concerne tous les gaz combustibles à l'exclusion des gaz de pétrole liquéfié (GPL) et des gaz de raffinerie. (a) Cette répartition entre industries productrices s'entend après échanges entre ces industries. (b) La répartition des consommations industrielles figure à la page suivante.  
Source : SOes

\* Sous-direction de l'observation de l'énergie et des matières premières – SOes – Ministère de l'Ecologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer, en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat.

## Industrie du gaz

### Répartition des consommations industrielles

(unité : GWh)

	1973	1990	2000	2006	2007	2008 (p)
<b>Electricité</b>	<b>43 816</b>	<b>12 401</b>	<b>29 619</b>	<b>41 111</b>	<b>44 173</b>	<b>44 209</b>
dont : Gaz naturel	24 872	257	17 739	31 277	33 346	33 846
Gaz de cokerie	5 410	3 114	3 153	2 333	2 470	2 699
Gaz de haut fourneau et de convertisseur	13 534	9 030	8 726	7 501	8 357	7 856
<b>Sidérurgie</b>	<b>23 284</b>	<b>17 869</b>	<b>14 637</b>	<b>14 312</b>	<b>15 057</b>	<b>14 344</b>
dont : Gaz naturel	8 766	8 615	7 602	7 857	8 518	8 092
Gaz de cokerie	5 902	7 494	5 270	4 863	5 050	5 088
Gaz de haut fourneau et de convertisseur	8 616	1 760	1 765	1 592	1 489	1 164
<b>Industries mécaniques et constructions électriques</b>	<b>6 557</b>	<b>17 380</b>	<b>22 354</b>	<b>21 011</b>	<b>20 277</b>	<b>nd</b>
<b>Industries chimiques et parachimiques</b>	<b>26 744</b>	<b>56 584</b>	<b>63 009</b>	<b>59 098</b>	<b>55 715</b>	<b>nd</b>
dont : Gaz naturel	24 749	56 056	63 009	59 098	55 715	nd
Gaz de cokerie	1 983	528	-	-	-	-
<b>Autres industries</b>	<b>16 108</b>	<b>71 108</b>	<b>88 883</b>	<b>80 350</b>	<b>94 516</b>	<b>nd</b>
dont : Gaz naturel	13 984	71 939	88 576	80 035	94 477	nd
<b>Ensemble</b>	<b>116 509</b>	<b>175 342</b>	<b>216 531</b>	<b>232 446</b>	<b>229 699</b>	<b>237 096</b>
dont : Gaz naturel	72 371	136 867	199 279	216 157	212 333	220 289

Source : SOes

VÉRONIQUE PAQUEL

## CONSOMMATION

La consommation totale de gaz (non corrigée du climat), à 515 TWh, progresse de +3,6 % en 2008, après -2,9 % en 2007 (1). Corrigée du climat, elle est en très légère progression (+0,3 %), après des évolutions de +0,5 % en 2007 et +0,8 % en 2006.

Pendant les neuf premiers mois de 2008, la consommation corrigée du climat a augmenté. Au cours du dernier trimestre sont apparus les premiers effets de la crise économique, avec une baisse de la consommation de -3,5 % par rapport au quatrième trimestre 2007, pour l'ensemble des ventes.

La consommation finale énergétique de gaz naturel corrigée du climat reste stable depuis trois ans, à 460 TWh.

La production d'électricité à partir du gaz naturel est restée stable en 2008 : en 2007, près de 20 TWh d'électricité avaient été produits à partir de 34 TWh de gaz naturel (chaleur non comprise).

Les centrales de cogénération produisent 17,6 TWh d'électricité et en même temps 27,9 TWh de chaleur ; une grande partie de la chaleur ainsi produite est revendue, le plus souvent au secteur résidentiel et tertiaire sous forme de chauffage urbain, le reste (près de 3 TWh) étant utilisé dans les complexes industriels où sont installées les centrales de cogénération.

Les centrales thermiques classiques produisent seulement 2,2 TWh d'électricité à partir du gaz naturel. Une trentaine de petites centrales classiques n'utilisant que du gaz naturel produisent 0,2 TWh d'électricité. D'autres centrales utilisent du gaz naturel et un autre combustible (2), elles ont produit au total 11,2 TWh d'électricité en 2007, dont seulement 2,6 TWh sont dus au gaz naturel. La production dans des centrales de cogénération devrait se stabiliser. Mais les centrales à cycle combiné au gaz vont se développer très rapidement : en 2008, seule la centrale DK6 (à Dunkerque) est en service. La nouvelle

centrale Emile Huchet (en Lorraine), les centrales lorraines de Pont-sur-Sambre et Blénod-Lès-Pont-à-Mousson, ainsi que celle de Martigues (PACA) devraient démarrer en 2009.

**Raffineries :** la consommation de gaz des raffineries augmente régulièrement depuis plusieurs années, mais elle devrait atteindre son seuil maximum en 2008 ou 2009. Pour la seule activité de raffinage (les raffineries produisent aussi, fréquemment, de l'électricité et de la chaleur), la consommation de 2006 est estimée à 4,8 TWh, celle de 2007 à 6,7 TWh et celle de 2008 à 7,0 TWh.

**La consommation finale énergétique de gaz** (naturel) corrigée du climat reste stable depuis trois ans, à 460 TWh.

**Dans le secteur résidentiel-tertiaire,** la consommation de gaz naturel (corrigée du climat), qui avait crû régulièrement entre 1990 et 2006, au rythme annuel moyen de +3,4 %, est restée quasi stable entre 2006 et 2008.

Le gaz naturel est l'énergie de chauffage central de 41 % des résidences principales (3) (61 % des appartements avec chauffage central collectif, 47 % des appartements ayant un chauffage central individuel, 35 % des maisons individuelles). Mais le gaz recule dans les constructions neuves :

- 29 % seulement des maisons neuves avec chauffage central sont chauffées au gaz, contre 43 % en 2004 ; le

(1) La consommation de gaz naturel est très sensible aux températures : l'année 2007, particulièrement douce, avait été marquée par une baisse notable des consommations réelles, tandis que 2006 et 2008 présentent des conditions climatiques moyennes comparables.

(2) Soit comme combustible annexe, par exemple dans des grosses centrales au charbon (comme Emile Huchet, en Lorraine), soit comme combustible alternatif (exemple : DK6, à Dunkerque, où la centrale à cycle combiné fonctionne avec du gaz de haut fourneaux et du gaz naturel).

(3) Données calculées par le Ceren à partir des enquêtes logement de l'Insee et des statistiques de la construction neuve (SOeS) (pour le parc) et des panels du Ceren (pour les consommations).

gaz est victime de l'engouement pour l'électricité et les pompes à chaleur ;

- 31 % des appartements neufs avec chauffage central individuel, contre 43 % en 2004, sont chauffés au gaz (la hausse des prix de l'immobilier favorise le chauffage électrique qui a un faible coût d'installation) ;
- Les appartements neufs avec chauffage central collectif continuent à privilégier le gaz (70 % en 2007, comme en 2004).

Dans le secteur tertiaire, 45 % des surfaces utilisent le gaz pour se chauffer et le gaz représente 48 % de l'énergie utilisée pour le chauffage. Mais, comme dans le résidentiel, le gaz perd du terrain, au profit de l'électricité, dans le neuf : 48 % des surfaces neuves sont chauffées au gaz (contre 55 % en 2000).

*Dans l'industrie* (gaz naturel, sidérurgie incluse, mais hors production d'électricité et hors non énergétique), La consommation de gaz dans l'industrie se stabilise, voire décroît, depuis 2003 ; elle augmente cependant en 2008, passant de 1 % à 1,5 % et retrouvant un niveau presque voisin de celui de 2006.

En 2007, les fournitures de gaz à la chimie (qui consomme 32 % du gaz de l'industrie) et à l'agro-alimentaire (19 %) sont en progression d'environ 10 % par rapport à 2006 ; les fournitures de gaz aux papetiers sont en forte baisse (-30 %).

Les tendances pour 2008 ne sont pas faciles à mettre en évidence, car la consommation de gaz dans les secteurs industriels n'est pas forcément en relation avec la production industrielle : le gaz devrait se substituer aux autres énergies fossiles à cause de son avantage en contenu carbone, mais son prix, très élevé en 2008, ralentit cette substitution.

*Dans le secteur des transports*, la plupart des constructeurs automobiles mondiaux s'impliquent aujourd'hui très doucement dans le carburant gaz naturel. En Europe, Citroën, FIAT, Mercedes, Opel, Peugeot, Renault et Volkswagen proposent déjà à la vente des modèles fonctionnant au GPL. Le gaz naturel est, à ce jour, le carburant alternatif non-dérivé du diesel le plus répandu pour la propulsion des autobus. De nombreuses métropoles régionales ont choisi de renouveler leur flotte par des bus GNV. Au total, plus de 2 000 bus GNV sont déjà en circulation en France. 750 BOM (bennes à ordures ménagères) au GNV sont également en service. Mais la consommation du secteur transport reste encore faible (de l'ordre de 1,1 TWh en 2008).

**La consommation finale non énergétique** : après une forte baisse (de près de - 10 %), liée à la baisse de production des engrais sur le territoire français en 2006, ce secteur a connu une forte croissance en 2007 et sa consommation semble se stabiliser en 2008, autour de 21 TWh.

## IMPORTATIONS

Les importations nettes de gaz progressent en 2008, parallèlement à l'augmentation de la consommation réelle (+ 3,7 % pour la consommation primaire totale) : elles passent de 480 TWh en 2007 à 504 TWh en 2008, soit une augmentation de +5,8 %, après -5,6 % en 2007 et -3,1 % en 2006.

Le portefeuille des importations s'est peu modifié en 2008 par rapport à 2007 :

	TWh			% par rapport au total des entrées brutes		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008
Total des entrées brutes (transit inclus)	598,3	574,1	592,0	100,00	100,00	100,00
Total des sorties (transit inclus)	88,3	94,4	88,0	14,75	16,45	14,87
Total des entrées nettes (transit et exportations exclus)	510,0	479,7	504,0	85,25	83,55	85,13
Contrats de long terme	480,4	452,2	465,0	80,3	78,8	78,5
<i>Russie</i>	80,9	66,1	75,2	13,5	11,5	12,7
<i>Norvège</i>	147,0	153,2	164,0	24,6	26,7	27,7
<i>Pays-Bas</i>	96,2	90,2	92,9	16,1	15,7	15,7
<i>Algérie</i>	81,7	86,8	84,2	13,6	15,1	14,2
<i>Égypte</i>	25,2	12,8	11,2	4,2	2,2	1,9
<i>Nigeria</i>	5,8	5,4	4,6	1,0	0,9	0,8
<i>Qatar</i>	0,0	3,2	4,4	0,0	0,6	0,7
Swap*	41,6	29,6	22,2	7,0	5,2	3,8
Autres et indéterminés	1,9	5,0	6,2	0,3	0,9	1,0
Contrats de court terme	29,7	27,4	39,0	5,0	4,8	6,6
<b>GNL</b>	154,3	144,8	149,7	25,8	25,2	25,3

\* essentiellement : arrivée de gaz du Nigeria pour le compte de l'Italie, à laquelle est restitué, par GDF, du gaz ne transitant pas par la France.

Tableau I – Entrées nettes de gaz naturel en France en 2006, 2007 et 2008.

- les importations en GNL représentent un quart des entrées nettes ;
- les importations par contrats de long terme ont globalement augmenté de +2,8 % : les importations en provenance de Russie, qui avaient beaucoup baissé en 2007, progressent de près de +14 %, mais ne retrouvent pas leur niveau de 2006 ; les importations en provenance de Norvège progressent de +7 % (elles représentent près du tiers des importations nettes totales) ; les importations en provenance des Pays-Bas et d'Algérie connaissent des variations plus modestes. Les nouvelles provenances (Égypte, Nigeria et Qatar), restent des volumes faibles, qui n'ont pas beaucoup varié entre 2007 et 2008 ;
- les contrats de court terme ont été un peu plus sollicités en 2008 : ils représentent 6,6 % des entrées nettes de gaz naturel en 2008 contre 5 % environ en 2007 et en 2006 (et près de 8 % en 2005) (cf. tableau I).

---

## PRODUCTION

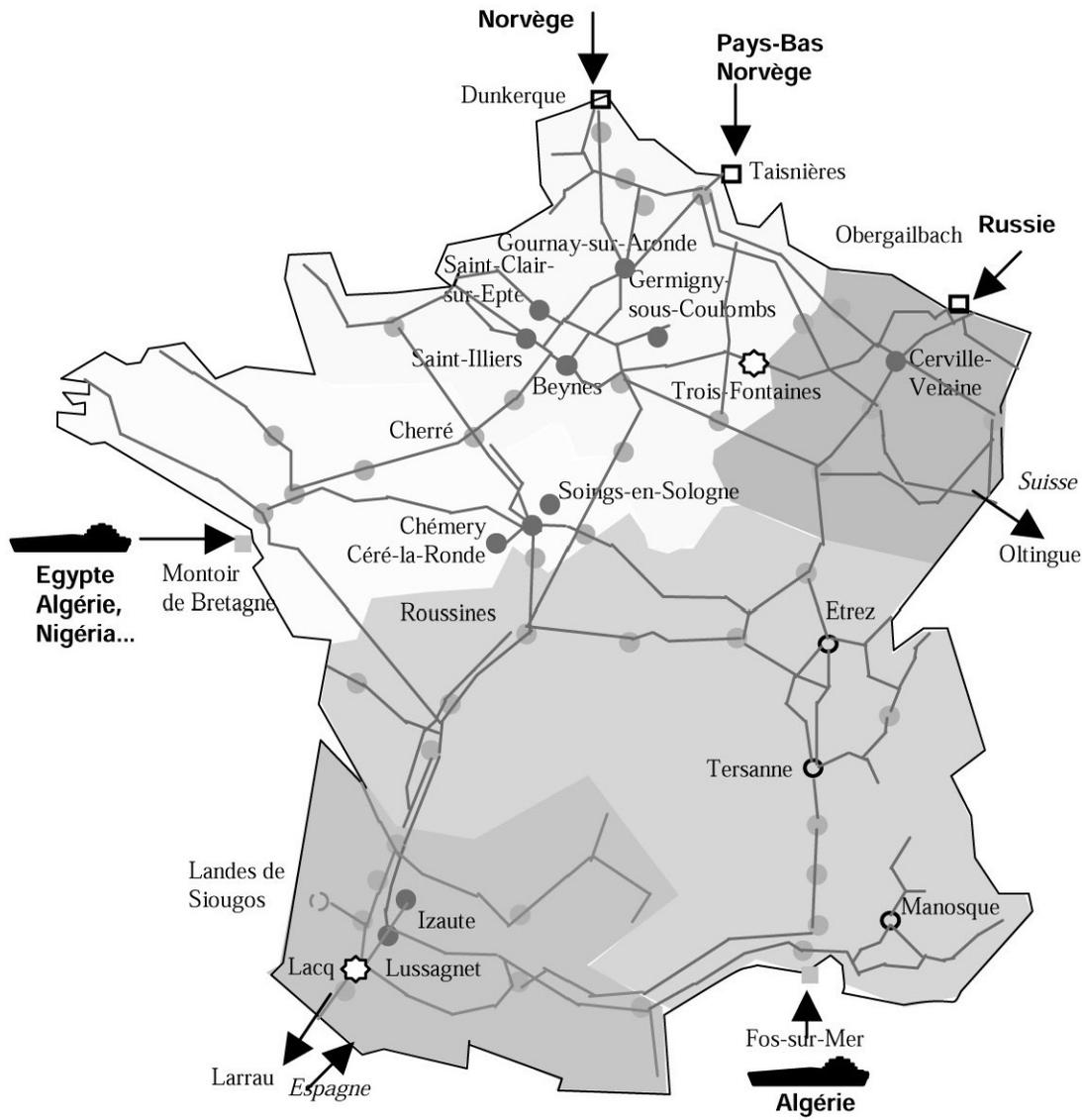
**La production nationale** continue de baisser (-11,4 %) : elle n'est plus que de 10,5 TWh.

---

## STOCKS

**Les stocks** (mesurés au 31 décembre), qui avaient progressé en 2005 (+7,3 TWh) et en 2006 (+11,7 TWh), mais diminué de -5,6 TWh en 2007, sont restés stables en 2008. Avant la période de chauffe (30 septembre), les stocks utiles sont au même niveau en 2008 qu'en 2007. A la fin de l'hiver dernier (30 avril 2008), les stocks utiles étaient à un niveau exceptionnellement haut : 51,7 TWh, contre 45,5 TWh en avril 2007 et 31,8 TWh en avril 2006. Fin décembre 2008, les stocks utiles sont équivalents à ceux du début de l'année (96,7 TWh, contre 97,8 TWh en décembre 2007).

## RÉSEAUX DE TRANSPORT, STOCKAGE, COMPRESSION ET PRODUCTION DE GAZ NATUREL EN 2008



Sources : SOeS.

# Les combustibles minéraux solides

## Charbon : les principaux résultats provisoires en 2008

par Sami LOUATI\*

FAITS ET CHIFFRES POUR 2008

### CONSOMMATION

**Consommation totale en énergie primaire corrigée du climat : 12,1 Mtep** en 2008, un niveau historiquement faible, soit un retrait de **-6,3 %** (-6 % en données réelles). Cette tendance baissière n'épargne aucun secteur.

Dans le secteur de la **production d'électricité** (y compris les centrales industrielles) : une baisse de **-8,5 %**, à **5,7 Mtep**, soit un niveau comparable à celui de 2006. Cette baisse, significative, a été observée particulièrement au cours du second semestre. Ainsi, la production d'électricité à base de charbon a perdu près de 2 TWh, pour s'établir à plus de 21 TWh. Désormais, la part des centrales électriques dans la consommation primaire totale de charbon s'établit à **43 %**, soit un point de moins qu'en 2007.

**Consommation finale corrigée du climat** : une baisse de **-5,1 %**, soit **6,5 Mtep**.

- **dans la sidérurgie** : une diminution de **- 5,9 %**, due à la mauvaise conjoncture du secteur, comme en témoigne la production d'acier brut, en recul de **-7,1 %**, avec une régression plus prononcée dans la filière à l'oxygène, qui voit sa part de marché perdre 1,6 point, à moins de 60 %. Avec **4,5 Mtep**, la sidérurgie représente **69 %** de la consommation finale de charbon ;
- **dans l'industrie (hors sidérurgie)** : selon les estimations basées sur l'évolution de l'activité, la consommation aurait connu un retrait de **- 2,9 %** en 2008, pour un total consommé d'environ **1,65 Mtep**. Cette baisse serait en

lien avec la dégradation de la conjoncture des industries consommatrices de charbon (notamment l'agro-alimentaire et la chimie minérale) ;

- **dans le résidentiel-tertiaire** : la demande semble atteindre un palier, avec une consommation estimée à environ **0,4 Mtep**, tournée principalement vers les réseaux de chaleur.

### PRODUCTION

L'extraction du charbon étant arrêtée depuis avril 2004, date de la fermeture de la dernière mine lorraine de La Houve, la production se limite désormais aux seuls *produits de récupération*, valorisés dans les centrales électriques à hauteur de **112 ktep** en 2008, soit une chute de **-35 %**, par rapport à 2007.

### IMPORTATIONS

Les **importations** totales de combustibles minéraux solides (CMS) (1) totalisent **14,2 Mtep** en 2008, contre **12,6 Mtep** un an auparavant, soit un bond de **+ 12,7 %**. S'agissant de l'origine géographique des importations,

\* Sous-direction de l'observation de l'énergie et des matières premières, SOeS, MEEDDM.

(1) Combustibles minéraux solides (houille, lignite, coke et agglomérés).

l'Australie continue d'occuper le premier rang de nos fournisseurs de charbon (28 %), principalement du charbon à coke (destiné aux cokeries). L'année 2008 est marquée par une envolée de nos importations en provenance des Etats-Unis, qui voient leur tonnage plus que doubler, dépassant la barre des 4 Mt, et placent ce pays au deuxième rang de nos fournisseurs, devant l'Afrique du Sud (15 % des parts de marché) et la Colombie (9 %). A eux seuls, ces quatre pays assurent plus des deux tiers de l'approvisionnement français en charbon. Les importations en provenance de Russie gagnent +62 %, pour un total de 1,8 Mt, confirmant ainsi l'ascension de ce pays sur le marché international de la houille. Malgré une hausse de 9 %, les importations en provenance de Chine maintiennent une part de marché constante de 3 %, contre 7 % à 9 %, au début des années 2000 (la demande intérieure de ce pays et sa réglementation contraignante ne lui permettent pas d'exporter davantage de charbon).

## PRIX

Depuis 2003, l'actualité charbonnière connaît une flambée des prix, qui s'est fortement accentuée en 2008. En moyenne sur l'année, le prix spot du charbon vapeur affichait 149 \$/t sur le marché ARA (2), soit un bond de +72 % en un an, après +36% en 2007. Mesurée en euros, cette hausse est atténuée du fait de l'appréciation de la monnaie européenne durant cette période : 101 €/t CAF, soit un bond de +61 %, après +24 % en 2007. Mais l'année 2008 a été contrastée : après une ascension

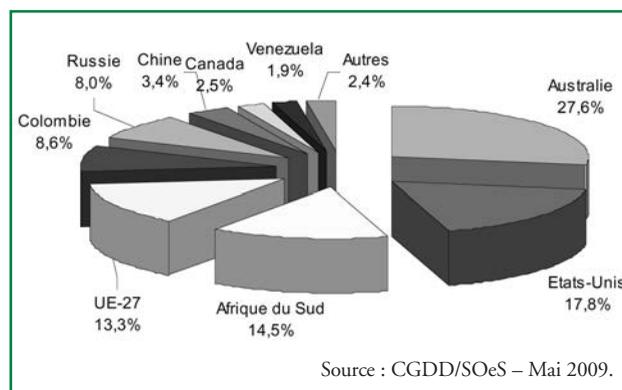


Figure 1 – Importations de Combustibles minéraux solides (CMS) par pays d'origine en 2008 (14,2 Mtep).

rapide des prix jusqu'à septembre, avec un record historique en juillet (220 \$/t), les prix entament depuis octobre une chute vertigineuse et tombent à 82 \$ la tonne en décembre, soit une perte de 138 \$ en cinq mois (voir la figure 2).

Cette flambée des prix s'explique principalement par une **forte demande**. En effet, entre 2002 et 2007, la consommation de charbon affichait un taux de croissance annuel moyen d'environ +6 % (3), soit une progression presque du triple de l'évolution de la consommation de gaz et du double de celle de la consommation de pétrole. Cette tendance haussière serait due à plusieurs facteurs : des tensions sur les prix du pétrole, l'importance des réserves prouvées de charbon et (surtout) une forte demande chi-

(2) Anvers, Rotterdam, Amsterdam.

(3) BP Statistical Review of World Energy, Juin 2008.

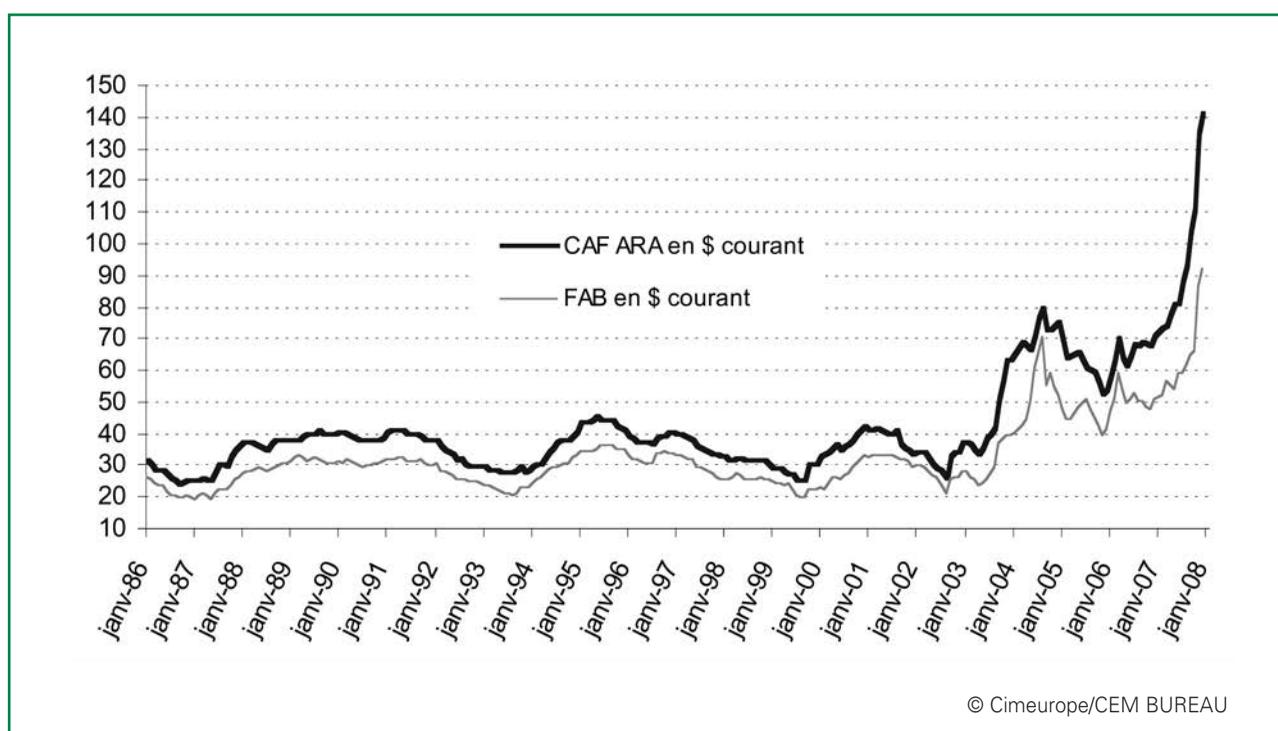


Figure 2 – Prix spot du charbon vapeur en provenance d'Afrique du Sud (\$/t).

noise de matières premières pour satisfaire une économie à la croissance galopante, de surcroît fortement dépendante du charbon.

Face à une telle demande, **la chaîne logistique charbonnière** s'est révélée sous-dimensionnée, et parfois vétuste. En effet, depuis l'été 2003, les faibles capacités portuaires et les mauvaises conditions d'acheminement du charbon entre les mines et les ports ont fait grimper les prix FAB (4). Cette situation a connu des fluctuations durant toute la période 2003-2008, sans retrouver les niveaux de prix du début 2003. Une amélioration relative de la chaîne logistique (augmentation des capacités portuaires, meilleure disponibilité des cargos, etc.) a permis, toutefois, une certaine détente des prix en 2005 : les acheteurs déboursaient 62 \$/t pour livraison sur le marché ARA, soit 10 \$ en moins par rapport au prix moyen de 2004, mais cette situation n'a été que passagère. En effet, les cours se sont maintenus à un niveau élevé en 2006 (64 \$/t, en moyenne) et 2007 (87 \$/t), puis ils se sont emballés en 2008. La pénurie de navires, particulièrement les « *Capesize* » (utilisés pour le transport sur longues distances), mobilisés pour le transport de matières premières vers la Chine, a été un facteur déterminant dans la hausse du prix du fret. Le coût du transport maritime a été volatil tout au long de ces cinq dernières années et il a enregistré de nouveaux records historiques début juin 2008 (plus de 60 \$ pour le transport d'une tonne de charbon entre le port de Richards Bays (Afrique du Sud) et Rotterdam).

Avec une congestion chronique touchant particulièrement le port de Newcastle (en Australie), quelques pays d'Asie se sont tournés, en 2007, vers l'Afrique du Sud,

fournisseur habituel de l'Europe, ce qui a ajouté à la nervosité du marché. Au début de l'année 2008, les incidents se sont multipliés (tempêtes de neige en Chine, inondations en Australie, défaut d'approvisionnement d'électricité en Afrique du Sud, etc.), conduisant à un renchérissement des cours. En juillet 2008, la tonne de charbon livrée sur le marché ARA dépassait la barre des 220 \$. Mais, à partir de l'automne, et ce, au même titre que les autres matières premières, l'effet de la crise économique se fait ressentir et les prix décrochent de façon vertigineuse. Le fret finit l'année à environ 6 \$/t (toujours pour le transport d'une tonne de charbon entre l'Afrique du Sud et la zone ARA) et le prix CAF tombe, en décembre, à 82 \$/t. Cette tendance s'est poursuivie durant le premier trimestre 2009 et la tonne de charbon s'est échangée, en moyenne, au mois de mars, à moins de 60 \$ la tonne (environ 46 €/t).

---

## STOCKS

Après une forte baisse des stocks en 2007 (1,3 Mt), l'année 2008 connaît un important mouvement de stockage : + 2,3 Mt pour l'ensemble des produits charbonniers, portant le niveau des stocks à 7,5 Mt. Ce mouvement touche principalement le charbon vapeur destiné aux centrales électriques, dont l'autonomie (au rythme actuel de la consommation) atteint les sept mois et demi en 2008 (soit environ trois mois de plus qu'en 2007).

---

(4) Franco à bord.

## Bilans des combustibles minéraux solides (CMS)

(milliers de tonnes)

	1980	1990	2000	2004	2006	2007	2008 (p)
<b>RESSOURCES</b>							
Variations des stocks (déstockage) .....		-	-	354	-	1 274	
<b>Importations</b>							
Houille .....	29 424	19 389	18 980	19 460	20 391	18 958	21 285
Lignite .....	12	69	52	40	37	51	67
Coke .....	3 018	1 109	1 493	1 281	1 461	1 071	1 310
Agglomérés (y compris briquettes de lignite) .....	286	178	80	77	121	115	113
<b>Total</b> .....	<b>32 740</b>	<b>20 745</b>	<b>20 605</b>	<b>20 858</b>	<b>22 010</b>	<b>20 195</b>	<b>22 775</b>
<b>Production primaire</b>							
Extraction de houille .....	18 135	10 487	3 165	160 (*)	0	0	0
Produits secondaires récupérés (PR) .....	2 058	712	639	712	452	422	277
Extraction de lignite .....	2 585	2 333	297	0	0	0	0
<b>Total</b> .....	<b>22 778</b>	<b>13 532</b>	<b>4 101</b>	<b>872</b>	<b>452</b>	<b>422</b>	<b>277</b>
<b>Total des ressources</b> .....	<b>55 518</b>	<b>34 277</b>	<b>24 706</b>	<b>22 084</b>	<b>22 462</b>	<b>21 891</b>	<b>23 052</b>
<b>EMPLOIS</b>							
Variations des stocks (stockage) .....	2 479	1 732	720		1 487		2 321
<b>Exportations</b>							
Houille .....	401	585	89	108	140	212	185
Lignite .....	31	0	0	0	0	0	0
Coke .....	871	383	721	853	701	796	993
Agglomérés .....	6	14	12	0	1	2	0
<b>Total</b> .....	<b>1 309</b>	<b>982</b>	<b>822</b>	<b>961</b>	<b>842</b>	<b>1 010</b>	<b>1 178</b>
<b>Consommation</b>							
Branche énergie (1) .....	31 294	15 614	11 562	10 634	9 437	10 123	9 324
Finale énergétique (2) .....	20 171	15 683	11 440	10 330	10 557	10 633	10 124
Finale non énergétique .....	265	266	162	159	139	125	105
<b>Total</b> .....	<b>51 730</b>	<b>31 563</b>	<b>23 164</b>	<b>21 123</b>	<b>20 133</b>	<b>20 881</b>	<b>19 553</b>
<b>Total des emplois</b> .....	<b>55 518</b>	<b>34 277</b>	<b>24 706</b>	<b>22 084</b>	<b>22 462</b>	<b>21 891</b>	<b>23 052</b>
<b>VARIATIONS DES STOCKS (3)</b>							
Houille .....	+ 2 024	+ 1 212	+ 962	- 191	+ 1 675	- 1 330	+ 2 199
Lignite .....	+ 185	+ 308	- 7	0	0	0	0
Coke .....	+ 246	+ 209	- 148	- 73	- 145	+ 71	+ 70
Agglomérés .....	+ 24	+ 3	- 17	- 3	0	0	- 3
Produits récupérés .....	0	0	- 70	- 87	- 43	- 15	+ 55
<b>Total CMS</b> .....	<b>+ 2 479</b>	<b>+ 1 732</b>	<b>+ 720</b>	<b>- 354</b>	<b>+ 1 487</b>	<b>- 1 274</b>	<b>+ 2 321</b>
<p>(1) Y compris centrales électriques industrielles et écart statistique.  (2) Consommation non corrigée du climat.  (3) Signe += stockage, signe -= déstockage.  (P) Résultats provisoire.  (*) Arrêt définitif de l'extraction de charbon, en avril 2004, avec la fermeture de la dernière mine située dans le Bassin lorrain.  Pour des informations complémentaires en rapport avec la production de charbon (production par bassin, rendements), se reporter aux éditions précédentes.  Source : SOeS.</p>							

## Consommation finale énergétique de CMS

(milliers de tonnes)

SAMI LOUATI

	1970	1980	1990	2000	2004	2006	2007	2008 (p)
<b>Consommation finale de houille et lignite</b>								
Sidérurgie .....	1 778	968	1 729	2 462	3 056	3 193	3 110	2 636
Industrie hors centrales .....	4 944	1 814	4 043	2 085	1 510	1 739	2 062	1 997
Résidentiel, tertiaire .....	6 277	2 725	1 725	733	539	480	480	480
Transports .....	265	9	0	0	0	0	0	0
<b>Total houille et lignite .....</b>	<b>13 264</b>	<b>5 516</b>	<b>7 497</b>	<b>5 280</b>	<b>5 105</b>	<b>5 412</b>	<b>5 652</b>	<b>5 113</b>
<b>Consommation finale de coke</b>								
Sidérurgie .....	13 153	11 394	6 665	5 327	4 503	4 439	4 268	4 303
Industrie hors centrales .....	1 876	1 008	670	585	624	629	649	641
Résidentiel, tertiaire .....	1 715	263	157	50	21	4	0	0
Transports .....	29	5	0	0	0	0	0	0
<b>Total coke .....</b>	<b>16 773</b>	<b>12 670</b>	<b>7 492</b>	<b>5 962</b>	<b>5 148</b>	<b>5 072</b>	<b>4 917</b>	<b>4 944</b>
<b>Consommation finale d'agglomérés</b>								
Sidérurgie .....	3	0	0	0	0	0	0	0
Industrie hors centrales .....	29	0	0	0	0	0	0	0
Résidentiel, tertiaire .....	4 025	1 979	694	198	77	73	64	67
Transports .....	56	6	0	0	0	0	0	0
<b>Total agglomérés .....</b>	<b>4 113</b>	<b>1985</b>	<b>694</b>	<b>198</b>	<b>77</b>	<b>73</b>	<b>64</b>	<b>67</b>
<b>Consommation finale de CMS</b>								
Sidérurgie .....	14 934	12 362	8 394	7 789	7 559	7 632	7 378	6 939
Industrie hors centrales .....	6 849	2 822	4 713	2 670	2 134	2 368	2 711	2 638
Résidentiel, tertiaire .....	12 017	4 967	2 576	981	637	557	544	547
Transports .....	350	20	0	0	0	0	0	0
<b>Total CMS .....</b>	<b>34 150</b>	<b>20 171</b>	<b>15 683</b>	<b>11 440</b>	<b>10 330</b>	<b>10 557</b>	<b>10 633</b>	<b>10 124</b>

Source : SOeS.

## Transformation

(milliers de tonnes)

	1970	1980	1990	2000	2004	2006	2007	2008 (p)
<b>Enfournement de houille</b>								
Cokéfaction .....	18 745	14 781	9 515	7 229	5 583	5 875	5 951	5 986
Agglomération .....	4 116	1 649	383	115	39	22	12	15
<b>Production de coke et d'agglomérés</b>								
Production de coke .....	14 152	11 118	7 197	5 235	4 542	4 689	4 465	4 488
Production d'agglomérés .....	4 302	1 757	554	121	35	25	16	16
dont : usines minières .....	3 503	1 338	430	70	0	0	0	0
usines non minières .....	799	419	124	51	35	25	16	16
<b>Consommation de houille et lignite des centrales électriques</b>								
Centrales minières (*) .....	6 652	8 285	5 002	3 582	3 496	3 127	3 071	3 315
Centrales EDF .....	10 062	18 744	7 783	6 287	5 180	5 139	5 922	4 875
Centrales sidérurgiques .....	590	62	86	0	0	0	0	0
Centrales industrielles .....	445	548	221	556	457	348	309	311
<b>Total centrales électriques .....</b>	<b>17 749</b>	<b>27 639</b>	<b>13 092</b>	<b>10 425</b>	<b>9 133</b>	<b>8 614</b>	<b>9 302</b>	<b>8 501</b>
dont lignite .....	2 306	2 381	1 843	267	0	0	0	0

(\*) Y compris des produits de récupération.

Source : SOeS.

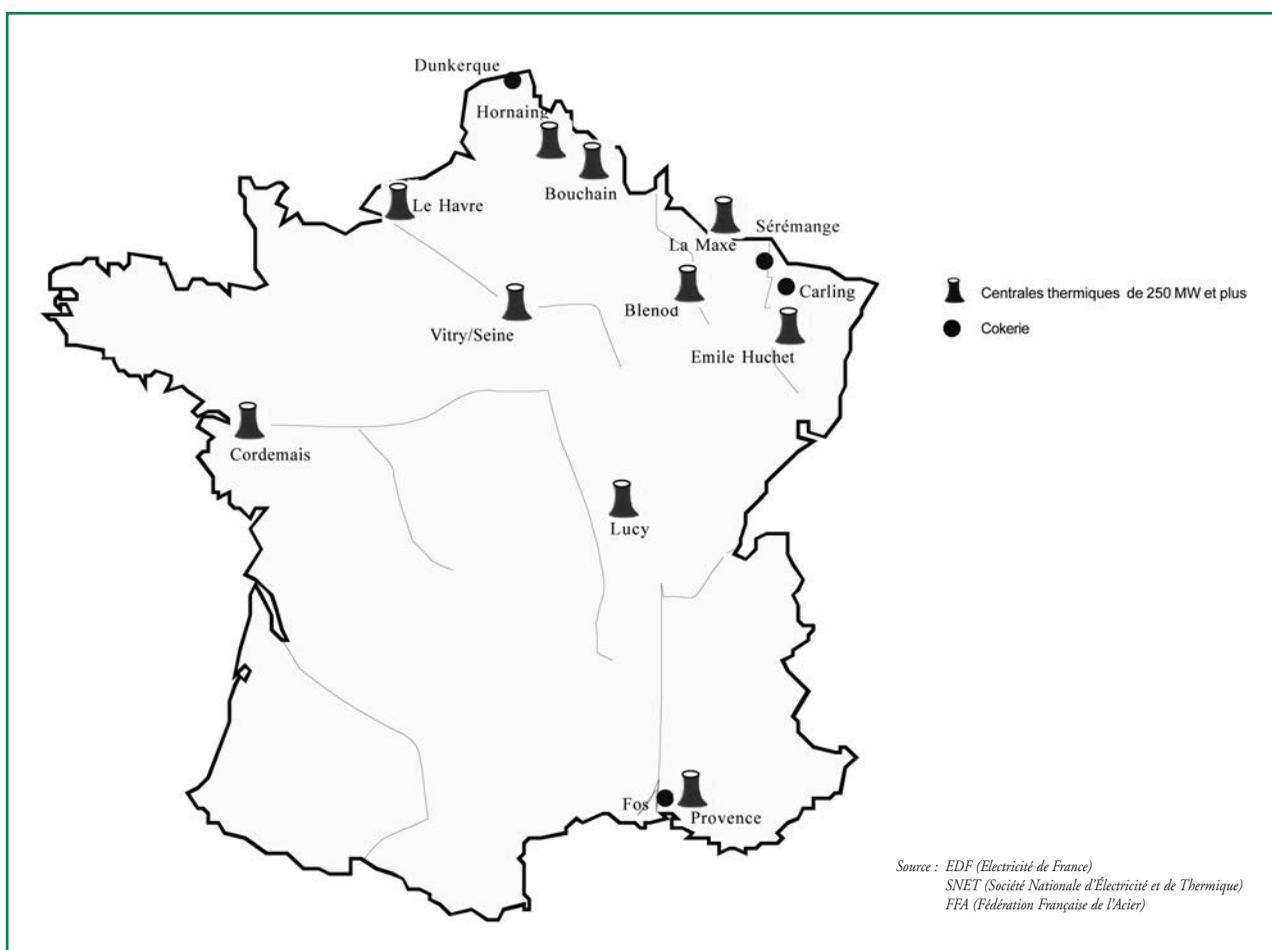
## Importations de combustibles minéraux solides

(milliers de tonnes)

	2000	2004	2005	2006	2007	2008
Allemagne	190	174	477	261	231	253
Pologne	1 645	935	1 530	1 015	484	288
Pays-Bas	56	82	94	472	408	536
Belgique	581	443	1 063	1 195	1 704	1 525
Italie	48	69	87	105	92	83
Royaume-Uni	108	74	53	60	96	144
Autres pays de l'UE à 27	86	157	610	164	144	169
<b>Ensemble des pays de l'UE</b>	<b>2 714</b>	<b>1 934</b>	<b>3 914</b>	<b>3 272</b>	<b>3 159</b>	<b>2 998</b>
Afrique du Sud	4 523	3 945	4 225	4 239	3 971	3 317
Australie	3 841	6 014	5 308	5 726	6 082	6 319
Canada	625	365	491	474	585	563
Viêt-Nam	130	231	103	154	157	123
CEI	375	917	927	1 183	1 132	1 838
États-Unis	3 356	2 236	1 928	2 001	1 862	4 072
Colombie	1 914	2 852	2 516	2 251	1 813	1 956
Venezuela	748	450	542	460	477	435
Chine	1 541	838	473	508	672	731
Pays divers	838	1 076	1 103	1 742	285	423
<b>TOTAL</b>	<b>20 605</b>	<b>20 858</b>	<b>21 530</b>	<b>22 010</b>	<b>20 195</b>	<b>22 775</b>

Source : SOes.

## L'industrie charbonnière en France : production de coke et d'électricité Situation au 1<sup>er</sup> janvier 2009



# Les hydrocarbures

par **Maurice GIRAULT\***

FAITS ET CHIFFRES  
POUR 2008

## LE PÉTROLE EN FRANCE : LES PRINCIPAUX RÉSULTATS EN 2008

### *Prix à la consommation :* fortes baisses au 2<sup>e</sup> semestre

Les prix des produits pétroliers augmentent fortement jusqu'en juin-juillet 2008, puis ils diminuent encore plus fortement jusqu'en décembre, pour retrouver des niveaux équivalents (ou inférieurs) à ceux de début 2005 (voire de 2000, pour le supercarburant). Comme pour le pétrole brut, les prix moyens pour le consommateur de 2008 sont en hausse sensible, par rapport à 2007. L'augmentation annuelle moyenne est de +16 % pour le gazole et de +28 % pour le fioul domestique, mais elle n'est que de 6 % pour le supercarburant, les taxes atténuant le mouvement de hausse des prix. La hausse des prix des carburants et les niveaux atteints (1,44 €/l pour le gazole, 1,51 €/l pour le super SP95) induisent une baisse de la circulation automobile et de la consommation correspondante.

Le poids des taxes atténue les hausses en pourcentage. C'est pourquoi le fioul domestique, peu taxé, augmente plus vite que le gazole. Cet effet, ajouté au déséquilibre entre la forte demande de gazole et les capacités du raffinage, explique que l'écart de prix entre le gazole et le super tombe à seulement 9 centimes en 2008, contre 19, en moyenne, en 2007. L'avantage compétitif du diesel s'en trouve amoindri. De même, le fioul domestique se trouve de plus en plus mal placé, parmi les combustibles utilisés pour le chauffage.

Pour le fioul lourd, principalement utilisé par les industries et les centrales thermiques, les hausses sont de l'ordre de +22 % à +29 %, en moyenne annuelle, entre 2007 et 2008, selon la teneur en soufre, après +5 % en 2007, de +13 % à +23 % en 2006 et +40 % en 2005.

### *Consommation de produits pétroliers : en hausse, du fait du fioul, mais baisse des carburants des transports*

L'année 2008 a été douce (indice de rigueur des températures de 0,94), mais moins que 2007 (0,85). Elle a été marquée par un premier semestre doux, avec un indice de 0,84 (par rapport à une référence de 1 pour la période de 1976-2005), mais de seulement 0,74 en 2007. Le dernier trimestre, en revanche, a été plutôt froid. Globalement, l'année a été douce et l'analyse doit en tenir compte en privilégiant les séries corrigées du climat, si l'on veut mieux comprendre les évolutions des comportements.

La consommation primaire (1) de pétrole et produits pétroliers, corrigée du climat, est de 91 Mtep. Elle diminue de -2 % en 2008, après -1,2 % en 2007, ce qui montre une accentuation de la tendance à la baisse observée depuis 2000 (-0,9 % par an en moyenne pendant ces huit années), alors qu'auparavant, elle progressait à un rythme d'environ +0,9 % par an, du contre-choc pétrolier de 1985 jusqu'en 1999.

Toujours après correction du climat, la consommation totale de produits raffinés (2) diminue de -2,7 % en 2008, à 86 Mtep, après -1,1 % en 2007. Hors usages non énergétiques et consommation de la branche énergie (centrales électriques classiques et consommation propre des raffineries), la consommation finale énergétique (3) est également en baisse sensible, -2,4 %, à 71 Mtep, après -1,6 % en 2007. Les évolutions par secteur sont présentées ci-après.

\* Chef du bureau des analyses économiques et statistiques sur l'énergie, SOeS, MEEDDM.

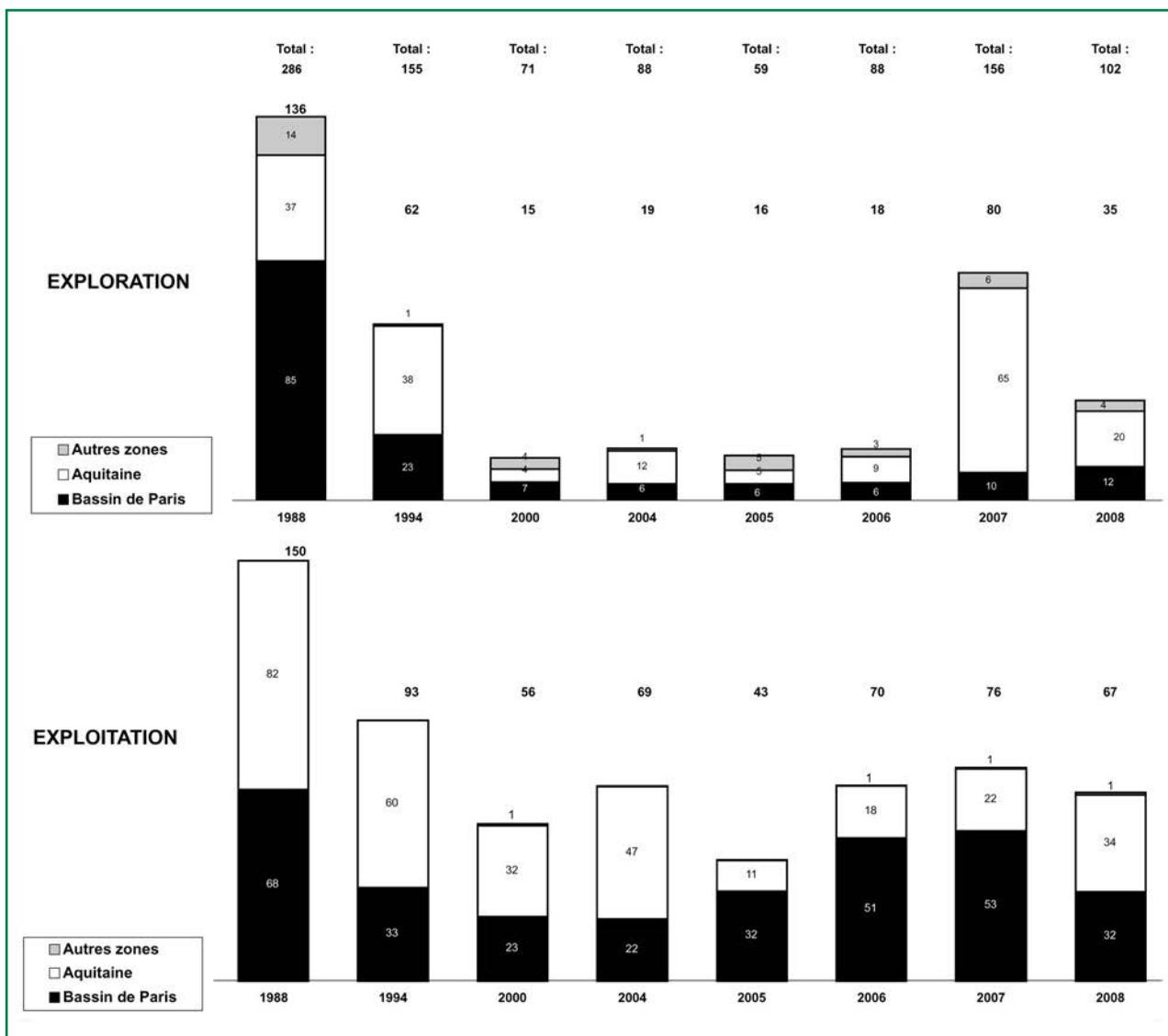
(1) Hors soutes maritimes internationales.

(2) Ventes déclarées par les entrepositaires agréés (source CPDP, déduction faite du contenu en biocarburants pour les carburants routiers) + solde net des bases pétrochimiques (source DIREM).

(3) Sans tenir compte des variations de stocks chez les consommateurs finals.

## Exploration - Exploitation

Investissements (en millions d'euros)



Source : DGEC

**Usages non énergétiques** (pétrochimie et lubrifiants, essentiellement) : la consommation de cette branche diminue (-5,3 %, à 13,6 Mtep), après la hausse de 2007 (+3,8 %). Mise à part l'année 2005, en léger recul, avec -1 %, la tendance restait à la hausse depuis 2002, la pétrochimie continuant à bénéficier d'une demande internationale soutenue ; en 2008, les diminutions importantes proviennent du naphta et du fioul destinés à la pétrochimie, alors que les ventes de bitumes poursuivent leur progression.

**Industrie, y compris sidérurgie** : les usages énergétiques du pétrole par l'industrie continuent à diminuer à un rythme accéléré (-6,5 %, après -5,3 % en 2007). L'indice de la production industrielle (IPI) diminue de -3,2 % pour l'industrie manufacturière et même de -3,9 % pour les industries grandes consommatrices d'énergie, surtout, les activités industrielles utilisant beaucoup de produits pétroliers, qui ont été, dans l'ensemble, moins dyna-

miques que la moyenne, d'où un effet de structure négatif sur la production. Parmi les secteurs grands consommateurs, la chimie, l'industrie automobile et la métallurgie sont particulièrement touchées, avec une diminution de leur activité supérieure aux -10 %. En outre, du fait des hausses de prix de ces dernières années et de la mise en place de quotas d'émissions, les gros consommateurs ont cherché à privilégier, dans la mesure du possible, des solutions alternatives aux produits pétroliers. Cette recherche est pour eux d'autant plus nécessaire qu'ils se trouvent dans un secteur exposé à la concurrence de pays à bas coûts de main-d'œuvre : ils ne peuvent dès lors pas répercuter facilement la hausse des prix pétroliers.

• La consommation du **résidentiel-tertiaire**, corrigée du climat, rebondit vivement, avec +5,5 %, à 13,4 Mtep, après des baisses fortes et ininterrompues depuis 2002 (-7 % en 2007 et -6 % en 2006). L'usage de produits pétroliers pour le chauffage a nécessité, en 2008, des

approvisionnement et une reconstitution de stocks après une année 2007 particulière : la douceur des températures au premier semestre, puis la hausse des prix en fin d'année avaient conduit les particuliers et les petits artisans et commerçants à différer, autant qu'ils le pouvaient, leurs achats et l'alimentation de leurs stocks ; le haut niveau des prix avait donc renforcé la tendance à la diminution des achats, qui était allée bien au-delà de la variation climatique normale ; cette évolution s'inverse en 2008, avec davantage de besoins de chauffage et un prix du fioul en forte baisse au 2<sup>e</sup> semestre.

Cette hausse en 2008 intervient dans une tendance de fond à la baisse : une baisse lente, compte tenu de l'inertie du parc installé, mais forte, dans la construction neuve, qui privilégie le chauffage électrique ou le chauffage au gaz, ainsi que, de plus en plus, les énergies renouvelables ;

- La consommation de **l'agriculture** augmente de +1,2 %, à 3,3 Mtep, après de nombreuses années en diminution, cela pour les usages spécifiquement agricoles (cf. nouvelle série, plus complète). Comme dans le résidentiel, une reconstitution des stocks est intervenue dans ce secteur, diffus, où les substitutions sont difficiles et l'élasticité aux prix est faible. La hausse de la production des biocarburants sur des terres en jachères contribue aussi à l'augmentation de la consommation ;

- **La consommation des transports chute fortement en 2008**, de -3,6 %, à 47 Mtep. Depuis 2001, la consommation des transports avait cessé d'augmenter et elle oscillait un peu en dessous des 49 Mtep ; après une baisse, en 2001 et 2002, elle s'était stabilisée à 48 Mtep. La chute enregistrée en 2008 provient de la dégradation de la conjoncture économique, qui affecte les transports, ainsi que de la hausse des prix des produits pétroliers, qui est telle qu'elle a pesé sur leur consommation, et d'un recours croissant aux biocarburants (qui ne sont pas inclus dans les présentes données) ;

- La consommation de combustibles pétroliers pour **la production d'électricité thermique** augmente de +6 %, après avoir diminué de façon considérable en 2007 (-21 %).

Les usages pour lesquels le pétrole est difficilement substituable (transports et matières premières) diminuent, du fait des niveaux élevés de prix atteints en 2008, ainsi que de la baisse d'activité des branches utilisatrices. Ils représentent désormais 73 % de la consommation totale de produits raffinés (contre 62 %, en 1990).

### *Importations de brut et exportations de produits raffinés en hausse*

**Les quantités de pétrole brut importées** augmentent de +2,5 %, après avoir diminué pendant trois ans (4) : -1,2 % en 2007, après -2,4 % en 2006 et -1,1 % en 2005. Les provenances se répartissent entre quatre zones principales : les pays de l'ex-URSS (29 %), l'Afrique (29 %), le Moyen-Orient (22 %) et la Mer du Nord (20 %). Les importations en provenance de Russie,

d'Arabie Saoudite et de Libye augmentent, celles de Norvège et du Kazakhstan stagnent. En revanche, les approvisionnements à partir de l'Iran, du Royaume-Uni et d'Azerbaïdjan diminuent.

**Pour les produits raffinés** (5), les importations se stabilisent en 2008, alors que les exportations progressent de +10 %, aussi le solde déficitaire se réduit, passant de 9,7 à 7,2 millions de tonnes (-26 %). L'augmentation des importations de gazole et de fuel est compensée par une diminution importante des imports de naphta ; l'augmentation des exportations porte sur les essences-carburants et le naphta. En 2007, les échanges de produits raffinés avaient cessé de progresser, ils avaient diminué de -9 % pour les importations et de -6 % pour les exportations. Le déphasage entre le marché et les possibilités du raffinage persiste : les raffineries françaises produisent trop d'essence au regard des besoins actuels du marché national, où le gazole est nettement majoritaire, elles doivent donc exporter les excédents, vers les Etats-Unis notamment. Inversement, elles ne produisent pas assez de gazole et doivent donc en importer, en particulier de Russie. Ce déséquilibre est d'ailleurs général et les cours du gazole à Rotterdam dépassent maintenant ceux de l'essence, depuis 2007. De la même façon, les raffineries de France produisent du fioul lourd (FOL) destiné aux soutes maritimes internationales en excédent, par rapport aux besoins nationaux, et elles l'exportent, alors qu'il faut importer du fioul lourd peu riche en soufre.

**Le solde global des importations pétrolières** est, en quantité, légèrement à la baisse :

- les importations de brut ont augmenté de 2,1 millions de tonnes (Mt), (1,7 Mt hors condensats et autres produits à distiller - apd -) ;
- les importations de produits raffinés sont quasi-stables ;
- les exportations de produits raffinés ont augmenté de 2,75 Mt ;
- globalement, le solde importateur s'est donc réduit de -0,5 Mt, car l'augmentation des exportations de produits raffinés a été plus importante que celle des importations de pétrole brut.

### *Prix du brut importé la chute après la hausse*

**Le prix du baril de brut importé** passe de 97 \$/bl en janvier 2008 à 138 \$/bl en juillet, puis à 52 \$/bl en décembre. Il suit de très près le cours du Brent daté. En moyenne annuelle, le prix CAF (6) du pétrole brut importé s'établit à 99 \$/bl, en augmentation de +38 %. Mais la baisse de la parité du dollar ramène cette hausse, exprimée en euros, à seulement +29 %, la tonne de

(4) Source : Observatoire de l'Énergie. A la différence des données des Douanes, le pétrole brut est classé ici selon le lieu de son extraction et non selon la provenance du pétrolier qui le livre en France.

(5) Données estimées principalement à partir de celles des Douanes.

(6) CAF : coût, assurance, fret (Source : DGDDI/DSEE).

pétrole importé atteignant 496 €/t (contre 385 €/t, en 2007).

Exprimé en euros, le **prix moyen des produits pétroliers raffinés** à l'import augmente, passant de 525 €/t en janvier 2008 à 645 €/t en juillet, puis il chute à 428 €/t en décembre. Le prix à l'export progresse, passant de 472 €/t à 628 €/t, puis il régresse jusqu'à 242 €/t, notamment du fait de l'évolution de la structure des produits exportés.

#### Production : stabilité

La **production nationale d'huile** s'établit à 975 kt en 2008, ce qui représente 1 % des besoins nationaux. Elle diminue dans le bassin de Paris (-2,7 %) avec 564 kt extraits, et elle augmente en Aquitaine, atteignant 404 kt (+4,4 %).

#### Raffinage : activité en hausse

L'activité du raffinage augmente en 2008, traitant 84,3 Mt contre 82,7 Mt l'année précédente. La marge de

raffinage, après un très haut niveau en 2005 (35 €/t, en moyenne annuelle), puis une baisse à 26 €/t en 2006, s'est reconstituée en 2007 et 2008, à 31 €/t puis 39 €/t. Les grands arrêts techniques normaux ont été du même ordre qu'en 2006. Le taux d'utilisation de la capacité de distillation atmosphérique augmente, s'établissant à 88,2 % (7) en 2008, après 86,4 % en 2007 et 87 % en 2005.

#### Stocks : quasi-stables

Les stocks de pétrole brut sont stables en 2008, ils avaient légèrement diminué en 2007 (-0,4 Mt) ; ceux de produits raffinés baissent en 2008, comme en 2007 (-0,2 Mt, après -0,7 Mt). Ces mouvements sont de faible ampleur.

---

(7) Source : Direm.

## Pétrole brut : production et approvisionnement

MAURICE GIRAULT

### Structure des réceptions de produits à distiller

(unité : million de tonnes)

Pays	2000		2005		2006		2007		2008	
		% du total des récept.								
<b>Total des réceptions</b>	<b>85,6</b>	<b>100,0</b>	<b>84,2</b>	<b>100,0</b>	<b>82,0</b>	<b>100,0</b>	<b>81,2</b>	<b>100,0</b>	<b>83,2</b>	<b>100,0</b>
<b>Proche-Orient</b>	<b>31,6</b>	<b>36,9</b>	<b>22,4</b>	<b>26,6</b>	<b>22,7</b>	<b>27,7</b>	<b>20,5</b>	<b>25,2</b>	<b>18,4</b>	<b>22,1</b>
Arabie Saoudite	15,2	17,8	10,3	12,3	8,7	10,6	6,9	8,5	7,5	9,0
Iran	5,2	6,0	6,9	8,1	6,7	8,2	6,6	8,1	4,5	5,4
Irak	7,2	8,4	1,4	1,7	3,5	4,3	3,0	3,6	2,9	3,5
Koweït	1,4	1,6	2,4	2,9	1,6	1,9	1,7	2,1	1,6	1,9
Syrie	2,5	2,9	1,2	1,4	0,9	1,1	1,2	1,5	1,4	1,7
EAU-Oman	0,0	0,0	0,1	0,1	1,4	1,7	1,0	1,3	0,5	0,6
<b>Afrique du Nord</b>	<b>6,3</b>	<b>7,4</b>	<b>10,2</b>	<b>12,1</b>	<b>7,9</b>	<b>9,7</b>	<b>8,1</b>	<b>10,0</b>	<b>11,2</b>	<b>13,4</b>
Algérie	3,5	4,1	5,4	6,4	3,5	4,3	2,1	2,6	3,7	4,5
Libye	2,4	2,9	4,5	5,3	4,2	5,1	5,2	6,4	6,8	8,2
Tunisie	0,4	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,8	1,0	0,4	0,5
Egypte	-	-	0,0	0,0	-	-	-	-	0,2	0,2
<b>Afrique Noire</b>	<b>7,6</b>	<b>8,8</b>	<b>8,9</b>	<b>10,6</b>	<b>9,5</b>	<b>11,5</b>	<b>10,0</b>	<b>12,4</b>	<b>13,1</b>	<b>15,7</b>
Nigeria	4,8	5,7	2,8	3,4	4,0	4,9	2,2	2,7	4,4	5,3
Gabon, Congo	0,3	0,4	0,8	0,9	0,7	0,9	1,1	1,3	1,2	1,4
Cameroun, Angola	2,2	2,6	4,6	5,5	3,7	4,5	5,4	6,6	5,7	6,9
Autres	0,2	0,2	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	1,8	2,1
<b>Autres</b>	<b>40,2</b>	<b>46,9</b>	<b>42,8</b>	<b>50,8</b>	<b>41,9</b>	<b>51,1</b>	<b>42,5</b>	<b>52,4</b>	<b>40,6</b>	<b>48,8</b>
Norvège	21,1	24,7	16,1	19,1	13,4	16,3	12,5	15,4	12,7	15,2
Royaume-Uni	9,9	11,6	4,4	5,3	6,5	7,9	4,8	5,9	3,1	3,7
Ex-URSS	8,0	9,3	19,6	23,3	20,0	24,4	23,8	29,4	23,8	28,6
Venezuela	-	-	0,1	0,1	0,6	0,7	0,0	0,1	-	-
Mexique	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0
Autres pays	1,1	1,3	2,5	2,9	1,4	1,8	1,4	1,7	1,0	1,2

Source : SOeS.

### Evolution de l'approvisionnement en produits à distiller

(en millions de tonnes)

	2000	2005	2006	2007	2008
Importations pour besoins français .....	85,6	84,2	82,1	81,2	83,2
dont :					
- Pétrole brut et condensats .....	85,5	84,2	82,1	81,0	82,7
- APD .....	0,2	0,0	0,0	0,2	0,5
Importations au titre du façonnage .....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Production française de pétrole brut .....	1,4	1,1	1,1	1,0	1,0
Variations de stocks de pétrole brut .....	-0,1	0,0	-0,4	0,4	0,0
<b>Total .....</b>	<b>87,0</b>	<b>85,3</b>	<b>82,8</b>	<b>82,6</b>	<b>84,2</b>

Source : SOeS.

## Les produits raffinés

### Evolution de l'approvisionnement en produits raffinés

(en millions de tonnes)

	2000	2005	2006	2007	2008
Production nette des raffineries	80,3	80,2	77,7	77,2	78,6
Réceptions (1)	30,2	34,7	37,1	33,8	33,3
Exportations	19,2	24,6	25,5	23,8	26,5
Variations de stocks (2)	1,1	1,1	0,0	-0,7	-0,3
<b>Total</b>	<b>92,2</b>	<b>91,4</b>	<b>89,3</b>	<b>86,6</b>	<b>85,1</b>

(1) N.c. rachats sur façonnage, inclus dans la production.  
(2) Raffinage et distribution  
Source : SOeS / DGEC.

### Production nette des raffineries françaises (1)

(en millions de tonnes)

En millions de tonnes	2000	2005	2006	2007	2008
<b>Production nette totale</b> .....	<b>80,3</b>	<b>80,2</b>	<b>77,7</b>	<b>77,2</b>	<b>78,6</b>
dont : .....					
GPL .....	2,6	2,3	2,2	2,0	2,3
<b>Essence et super</b> .....	<b>16,5</b>	<b>14,7</b>	<b>15,1</b>	<b>14,5</b>	<b>13,1</b>
dont sans plomb.....	15,9	14,5	15,1	14,5	13,1
Naphta pour vapocraqueur .....	5,9	5,4	5,0	5,0	5,4
Carburacteur .....	6,1	5,5	5,6	5,5	5,6
Gazole .....	22,0	20,6	21,3	23,8	23,9
Fuel domestique FOD (2).....	12,5	12,9	12,3	10,1	11,5
<b>Gazole + FOD</b> .....	<b>34,5</b>	<b>33,5</b>	<b>33,5</b>	<b>33,8</b>	<b>35,4</b>
Fuel lourd industriel.....	8,0	7,4	7,5	6,8	6,7
Fuel lourd de soutes (IF).....	2,3	3,3	3,3	3,5	3,7
<b>Total fuels lourds</b> .....	<b>10,3</b>	<b>10,7</b>	<b>10,8</b>	<b>10,4</b>	<b>10,4</b>
Lubrifiants .....	1,8	1,9	1,6	1,6	1,6
Bitumes.....	3,7	3,6	3,6	3,4	3,3

(1) Production brute - autoconsommation.  
(2) Comprend le Diesel Marine Léger (DML).  
Source : SOeS / DGEC.

### Production de gaz naturel (1) et d'hydrocarbures extraits du gaz naturel

Gaz naturel	1980	1990	2000	2004	2006	2007	2008
Production de gaz brut (millions de m <sup>3</sup> ) .....	10 827	4 334	2 808	2 149	1 877	1 721	1 604
Produits finis obtenus : .....							
Gaz épuré (millions de m <sup>3</sup> ) .....	7 539	2 963	1 771	1 254	1 094	952	871
Produits pétroliers (en 1 000 t) .....	833	352	173	150	45	39	35
Soufre (en 1 000 t) .....	1 830	667	548	422	361	331	309

(1) non compris le grisou de Gazonor.  
Source : DGEC.

# Les énergies renouvelables en France : les principaux résultats en 2008

par **Hélène THIÉNARD\***

FAITS ET CHIFFRES  
POUR 2008

Le bilan spécifique des énergies renouvelables (ENR) diffère du bilan officiel de l'énergie (dont la dernière colonne « ENRt et déchets » ne comprend que les énergies renouvelables thermiques et l'ensemble des déchets), pour les raisons suivantes :

- il prend en compte l'ensemble des énergies renouvelables, que celles-ci soient d'origine électrique ou thermique ;
- il recense les productions électriques et thermiques renouvelables (après transformation ou non des productions primaires) ;
- il détaille les usages (électriques et/ou thermiques) réservés à chacune des productions d'énergie renouvelable et donne la répartition de ces usages selon les différents secteurs consommateurs (résidentiel, industrie, agriculture...).

La mise à jour annuelle de ce bilan permet de suivre et de mesurer l'avancement des programmes soutenus par les pouvoirs publics en matière de production, de valorisation et d'utilisation des énergies renouvelables.

NB : l'actualisation des bilans repose, dans certaines filières, sur des enquêtes à périodicité variable, ce qui peut engendrer des révisions assez sensibles. Ainsi, la publication des résultats de l'enquête logement 2006 de l'INSEE a conduit à une forte révision (à la baisse) des consommations de bois de chauffage des ménages sur la période 1996-2007.

Les commentaires ci-après ne concernent que les données établies pour la métropole.

## PRODUCTIONS ÉLECTRIQUE ET THERMIQUE RENEUVELABLES ET AGROCARBURANTS

La production d'électricité renouvelable progresse à nouveau sensiblement, pour la troisième année consécutive : +11,4 % à 74,0 TWh, contre 66,4 TWh en 2007

et 62,2 TWh en 2006. Cet accroissement global de +7,5 TWh provient, pour une grande part, de la production hydraulique renouvelable (+5,7 TWh). La production éolienne, qui progresse encore sensiblement, intervient pour 1,7 TWh supplémentaire et les productions électriques d'origine thermique, bien qu'affichant toutes de petites progressions, ne contribuent que pour 200 GWh à la hausse de la production électrique.

Dans ce contexte, la part de l'électricité d'origine renouvelable dans la consommation intérieure brute d'électricité (métropole uniquement) remonte à 14,1 % en 2008 (contre 12,9 % en 2007).

La part de l'hydraulique reste prépondérante, avec près de 87 % de la production électrique. Tandis que la part de l'éolien poursuit sa progression, à 8 %, celle des déchets urbains renouvelables reste stable à 2,5 %, et celle du bois-énergie diminue de nouveau légèrement à 1,8 %. Le poids du biogaz et du solaire photovoltaïque, bien qu'en forte progression, reste inférieur à 1 %.

**L'année 2008 restera marquée par :**

- une remontée significative de la production hydraulique (64,3 TWh, contre 58,6 TWh en 2007), qui retrouve un niveau moyen, après plusieurs années de faibles niveaux ;
- une progression, moins marquée, de la production d'électricité éolienne (+40 %, à 5 710 GWh, contre +85 % en 2007, pour la métropole), mais un accroissement substantiel des capacités installées (1060 MW de puissance raccordée en 2008, contre 771 MW en 2007 et 840 MW en 2006), portant à 3 505 MW la capacité totale à la fin 2008 ;
- un véritable décollage du solaire photovoltaïque relié au réseau, après trois années consécutives de montée en puissance ; les puissances des capteurs installés raccordés au réseau métropolitain ont été multipliées par 4, pour

\* Sous-direction de l'observation de l'énergie et des matières premières, SOeS, MEEDDM.

atteindre les 56 MW fin 2008 (contre 14 MW, fin 2007). (A noter : la mise en service des toutes premières installations de grande capacité) ;

- une légère progression de l'électricité issue de toutes les filières d'énergies renouvelables d'origine thermique (3,9 TWh, contre 3,7 TWh en 2007), après leur reprise, sensible, en 2007, du fait de la mise en service de plusieurs unités nouvelles, notamment en matière de production de biogaz.

**La production thermique renouvelable hors biocarburants** (ou chaleur renouvelable) progresse sensiblement en données réelles : +6,2 %, à 9,1 Mtep, contre 8,6 Mtep en 2007. Après une stagnation entre 2006 et 2007, la hausse affichée en 2008 provient principalement d'une plus grande utilisation du bois de chauffage des ménages, liée à une saison hivernale plus froide que l'année précédente, ainsi que (dans une moindre mesure) de la progression régulière des installations de pompes à chaleur. La chaleur renouvelable corrigée des variations climatiques (calculée pour mesurer l'évolution tendancielle) s'élève à 9,4 Mtep, en progression de +2 %, par rapport à 2007 et de +6,4 % sur la période 2005-2008.

La production thermique est assurée principalement par le bois-énergie (88 %, à 8,0 Mtep). La part des pompes à chaleur progresse régulièrement (5 %, contre 4 % en 2007), tandis que celle des déchets urbains renouvelables reste relativement stable (3,5 %). La part résiduelle concerne le solaire thermique, la géothermie, le biogaz et les résidus de récoltes (soit 3,5 % au total).

**On notera, pour 2008 :**

- une croissance à nouveau assez modérée du solaire thermique : avec près de 240 000 m<sup>2</sup>, les surfaces installées affichent une croissance de +17 %, comparable à celle de 2007, mais sensiblement inférieure à celles des années précédentes. Pour la seconde année consécutive, la progression dans le secteur collectif/tertiaire (+32 %) est nettement supérieure à celle du secteur résidentiel (CESI + SSC). Au total, le parc en activité au 31/12/08 est évalué à 1 160 000 m<sup>2</sup> ;
- un léger redémarrage de la géothermie profonde, avec la mise en service de deux nouvelles opérations en Île-de-France (Orly et Sucy-en-Brie) ;
- un développement toujours soutenu des pompes à chaleur, avec l'installation de 85 000 pompes à chaleur supplémentaires en 2008 dans le résidentiel (hors PAC air/air). Comme en 2007, leur développement se confirme dans l'habitat existant (en relève de chaudières), profitant notamment aux PAC aérodynamiques. Fin 2008, le parc est estimé à plus de 350 000 unités ;
- une très légère reprise de la production de chaleur en provenance des déchets urbains renouvelables et du biogaz, avec l'ouverture de plusieurs unités nouvelles en 2008 ;
- une augmentation sensible (à climat réel) de l'utilisation de bois de chauffage dans le secteur résidentiel-tertiaire, liée à un climat 2008 moins clément que celui de 2007, mais également avec une légère progression en données corrigées des variations climatiques (climat moyen défini sur la période 1976-2005), résultant de plusieurs éléments :

le redressement des ventes d'appareils de chauffage, après un léger repli en 2007 (470 000 appareils en 2008 (en première estimation), avec une belle progression des poêles et des chaudières), la disparition progressive des appareils de base traditionnels, à consommation élevée, compensée par le remplacement ou l'acquisition d'appareils nettement plus performants et la poursuite du programme bois-énergie 2007-2010 dans les secteurs collectif/tertiaire et industrie (450 nouvelles opérations engagées, pour une puissance de 267 MW).

**Les agro-carburants** affichent un nouveau bond de +63 %, avec une quantité d'agro-carburants incorporés à la hauteur de 2,4 Mtep (contre 1,5 Mtep en 2007). L'octroi d'agréments supplémentaires pour 2008 (3 430 kilotonnes) et l'entrée en production de nouvelles capacités ont contribué à la mise sur le marché national de quantités supplémentaires très importantes d'agro-carburants. Dans l'attente de la collecte complète des données par les services des Douanes, le SOeS a considéré, en lien avec la DGEC, que, comme en 2007, le taux d'incorporation d'agro-carburants dans les quantités d'essence et de gazole mises en vente, fixé pour 2008 (soit 5,75 %) était respecté par chacune de ces deux filières.

## CONSOMMATION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES THERMIQUES ET DES AGRO-CARBURANTS

La consommation finale d'énergies renouvelables thermiques et d'agro-carburants (après corrections climatiques) s'élève à 11,8 Mtep (la part de l'électricité produite à partir des ENRt est comptabilisée dans le poste électricité), soit une progression de plus de 1 Mtep pour la seconde année consécutive, à la faveur notamment de la montée en puissance des agro-carburants.

La répartition de la consommation finale entre les différents secteurs utilisateurs présente, pour la seconde année consécutive, après plusieurs années de relative stabilité, une réelle évolution : en effet, la part du résidentiel-tertiaire (66 %) perd encore 5 points et celle de l'industrie (13 %) recule d'1 point, au profit des transports (20,5 %), qui occupent à présent une place importante et devançant désormais largement le secteur de l'industrie. La part de l'agriculture reste marginale (0,5 %), mais elle pourrait progresser, à l'avenir, avec la mise en application des mesures du Grenelle de l'Environnement.

- **résidentiel-tertiaire** : légère hausse, à 7,8 Mtep, grâce à la progression des pompes à chaleur et, dans une moindre mesure, à celle de la consommation de bois de chauffage (ménages, collectivités et tertiaire), qui représente toujours près de 90 % de la consommation de ce secteur. La part des pompes à chaleur progresse régulièrement (près de 6 %), celle des déchets urbains renouvelables par l'intermédiaire des réseaux de chaleur peine à se maintenir (à 3 %). Le poids du solaire thermique et de la géothermie reste marginal.

- **industrie** : stabilisation, avec 1,5 Mtep, résultant de la baisse d'activité dans l'ensemble des secteurs du bois,

papier et cartons, compensée par l'entrée en activité d'un nombre croissant de chaufferies industrielles au bois (« Programme bois énergie » de l'Ademe).

- **transports** : importance accrue du secteur des transports, avec le développement conséquent de la consommation d'agro-carburants (2,4 Mtep) induite par les objectifs fixés dans le cadre du plan de développement des biocarburants.

Pour rappel :

- la production hydraulique brute est comptabilisée **hors production issue des STEP** (stations de pompage) ;

- la production primaire brute de biogaz est la production du **biogaz capté valorisé** ;

- la production primaire brute des déchets urbains et sa valorisation sous forme électrique et thermique sont **réparties, à 50 % - 50 % entre déchets urbains renouvelables et déchets urbains non renouvelables**. Seuls les déchets urbains renouvelables apparaissent dans ce bilan spécifique ;

- la production thermique renouvelable issue des pompes à chaleur correspond à la chaleur totale produite, de laquelle a été soustraite la consommation d'électricité nécessaire à leur fonctionnement.

**Bilan statistique\***

Unité : ktep

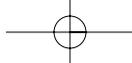
	1980	1990	2000	2006	2007	2008 p
<b>A. Production d'énergie primaire (1)</b>	<b>15 002</b>	<b>15 409</b>	<b>15 982</b>	<b>16 063</b>	<b>16 898</b>	<b>19 039</b>
Hydraulique (hors pompage)	6 020	4 680	5 824	4 873	5 039	5 533
Éolien	0	0	7	188	349	491
Solaire (2)	7	19	17	29	37	47
Géothermie	11	110	126	114	109	114
Pompes à chaleur	8	167	130	286	348	460
Déchets urbains renouvelables	294	589	955	1 130	1 168	1 197
Bois et déchets de bois	8 541	9 682	8 335	8 362	8 280	8 697
Résidus de récoltes	66	89	100	140	148	145
Biogaz	55	73	149	241	256	279
Biocarburants	0	0	339	700	1 164	2 076
B. Solde commerce extérieur (biocarburants)	0	0	8	37	323	348
<b>C. Total disponibilités EnR (A+B)</b>	<b>15 002</b>	<b>15 409</b>	<b>15 989</b>	<b>16 100</b>	<b>17 220</b>	<b>19 387</b>
D. EnR mobilisées pour produire de l'électricité (3)	6 340	5 038	6 557	6 072	6 510	7 203
E. Usages internes + pertes et ajustement	346	670	593	662	694	695
<b>F. Disponibilités des EnR d'origine thermique (C-D-E) (4)</b>	<b>8 316</b>	<b>9 701</b>	<b>8 840</b>	<b>9 366</b>	<b>10 017</b>	<b>11 489</b>
<b>Répartition de la consommation finale des EnR d'origine thermique (4)*</b>						
Résidentiel-tertiaire	7 317	8 450	7 191	7 210	6 985	7 493
dont bois et déchets de bois	7 202	8 040	6 642	6 547	6 252	6 630
Industries	958	1 206	1 254	1 368	1 496	1 521
dont bois et déchets de bois	904	1 105	1 120	1 208	1 329	1 355
Agriculture	41	45	49	51	50	51
dont bois et déchets de bois	40	40	40	40	40	40
Transports	0	0	347	737	1 486	2 424
<b>Total consommation finale (5)**</b>	<b>8 316</b>	<b>9 701</b>	<b>8 840</b>	<b>9 366</b>	<b>10 017</b>	<b>11 489</b>
* France métropolitaine (DOM exclus). Ce bilan concerne les EnR uniquement, définies selon la nouvelle méthodologie (hydraulique, biogaz, déchets urbains renouvelables).						
** Ces données diffèrent légèrement de la dernière colonne « EnRt et déchets » du bilan officiel, qui inclut les déchets non renouvelables.						
(1) Ensemble des productions électriques et thermiques d'origine renouvelable (1 GWh = 0,086 ktep).						
(2) Solaire thermique et photovoltaïque.						
(3) Énergies renouvelables d'origine électrique (hydraulique, éolienne, solaire photovoltaïque) ou thermique mobilisées pour produire de l'électricité.						
(4) Énergies renouvelables d'origine thermique utilisées sous forme de chaleur ou de force motrice (biocarburants), hors déchets non renouvelables.						
(5) Il s'agit de consommations réelles, sans corrections des aléas climatiques.						
Source : SOeS d'après CEREN, ADEME, EDF, Observ'ER.						

**Energie éolienne raccordée au réseau électrique en métropole et dans les DOM**

	1993	1995	2000	2005	2006	2007	2008 p
Puissance installée (MW) :							
– au cours de l'année	2,2	0,0	33,1	502,1	839,6	771,3	1 059,5
– parc total en cumul	2,2	2,2	47,5	871,4	1 710,9	2 482,2	3 541,7
dont cumul DOM	-	-	7,9	28,7	35,8	35,8	35,8
Production annuelle (GWh) :							
dont DOM	0	5	92	990	2 229	4 116	5 774
	-	-	14	26	40	56	64
p : provisoire - Source : SOeS d'après ERDF et RTE							

**Energie solaire thermique en métropole et dans les DOM**Unité : 1000 m<sup>2</sup>

	1990	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008 p
Surface de capteurs en service	599	626	629	660	716	782	895	1 121	1 352	1 638
dont DOM	33	113	126	161	201	248	303	365	420	480
p : provisoire Source : SOeS d'après Observ'ER										



## Solaire thermique - Installations réalisées annuellement depuis 2000 (en Métropole)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008 p
CESI (1) : nombre d'unités installées	800	2 500	3 520	5 040	7 260	12 120	30 460	27 190	31 000
: surface de capteur (1000 m <sup>2</sup> )	2,8	10,8	19,9	28,2	34,8	56,7	125,1	119,9	136,8
SSC (2) : surface installée (1000 m <sup>2</sup> )	2,0	3,4	3,6	6,2	8,4	17,8	50,3	46,9	50,9
ECS collective (3) : surface installée (1000 m <sup>2</sup> )	1,6	3,5	6,6	13,3	12,1	17,9	20,3	39,3	52,1
Total surface (1000 m <sup>2</sup> )	6,4	17,7	30,1	47,7	55,3	92,4	195,7	206,1	239,8

p : provisoire. 1 : chauffe-eau solaire individuel. 2 : système solaire combiné (chauffage + eau chaude). 3 : eau chaude solaire collective.  
Source : SOeS d'après Observ'ER

HÉLÈNE THIÉNARD

## Consommation annuelle de biocarburants

Unité : millier de tep

	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008 p
Filière éthanol : ETBE (1)	24	59	58	58	49	52	75	148	272	404
Filière ester : EMHV (2)	143	288	290	288	301	302	344	589	1 214	2 021

1 : ce tableau présente les quantités d'éthanol consommé, pur ou transformé en ETBE. L'éthanol, produit à partir de blé ou de betteraves peut être transformé en ETBE (Ethyl-Tertio-Butyl-Ether) par adjonction d'isobutène. Jusqu'en 2004 seul l'ETBE était incorporé aux essences dans un rapport de 5 à 15 %.  
2 : les huiles végétales, telles que le colza en France permettent d'obtenir, par transformation chimique, des esters méthyliques ou diesters : EMHV (Ester Méthylique d'Huile Végétale) que l'on peut incorporer au gazole (oxygénation des carburants) dans un rapport de 5 à 15 %.  
Source : Observatoire de l'Energie d'après Douanes

## Etat des réalisations des usines de traitement de déchets avec récupération d'énergie

	1995	1997	1998	1999	2000*	2002	2004	2006 p
Nombre d'installations	94	98	104	110	109	112	112	110
Tonnage annuel traité (en 1000 tonnes)	8 012	8 415	8 671	9 830	10 319	11 352	12 949	12 221
Quantité d'énergie vendue (GWh)	9 837	8 000	8 194	8 716	9 642	11 959	11 572	10 401

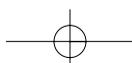
p : provisoire. \* Depuis l'année 2000, l'enquête ITOM est réalisée tous les deux ans.  
Source : ADEME d'après l'inventaire des unités de traitement des ordures ménagères (ITOM).

## Consommation de bois par secteur utilisateur\*

unité : ktep

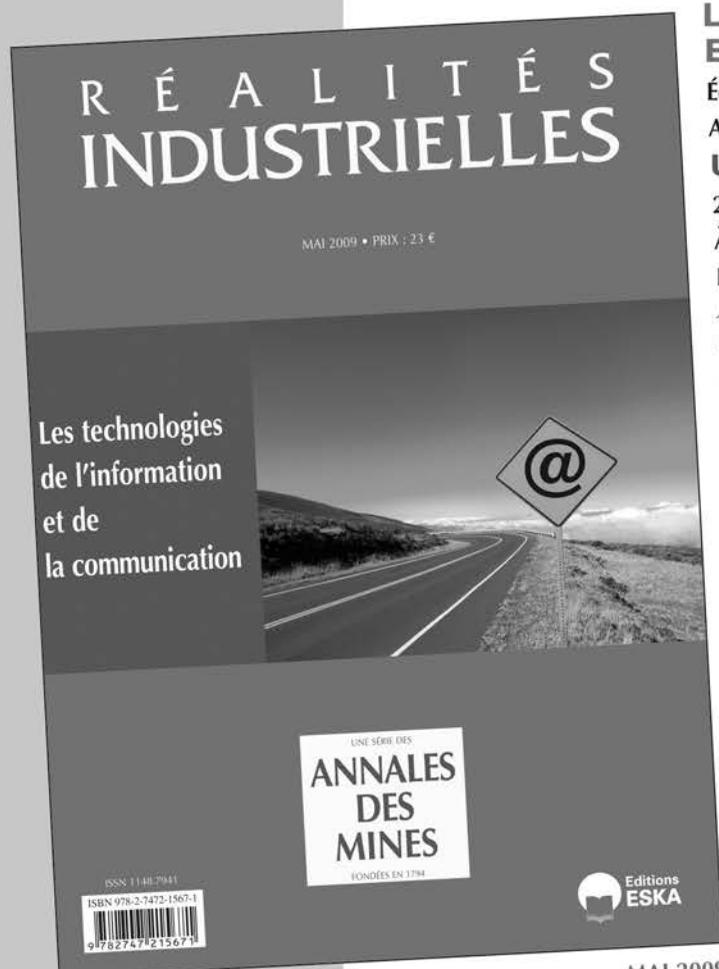
	1990	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008 p
Secteur domestique	7 942	7 670	6 528	6 583	6 597	6 549	6 341	6 037	6 379
Secteur collectif/tertiaire	98	101	114	157	175	195	206	215	251
Secteur industriel	1 601	1 677	1 653	1 678	1 705	1 750	1 775	1 988	2 027
Secteur agricole	40	40	40	40	40	40	40	40	40
<b>Total consommation de bois</b>	<b>9 682</b>	<b>9 488</b>	<b>8 335</b>	<b>8 459</b>	<b>8 517</b>	<b>8 534</b>	<b>8 362</b>	<b>8 280</b>	<b>8 697</b>

\* A climat normal  
Source : SOeS d'après ADEME/CEREN.



# R É A L I T É S INDUSTRIELLES

une série des Annales des Mines



MAI 2009  
ISSN 1148.7941  
ISBN 978-2-7472-1567-1

## LES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION

Éditorial – *Pierre Couveinhes*

Avant-propos – *François Cholley*

### Un secteur qui nous surprend encore

20 ans ou la préhistoire...du cybermonde – *Yves Gassot*

À quoi ressemblera le monde numérique, en 2030 ? – *Michel Gensollen*

L'information, les connaissances et l'informatique en 2028 –  
*Jean-Pierre Corniou*

Concurrence ou régulation ? Ou bien, les deux à la fois ? La transmission à très haut débit en Europe – *Martin Cave*

### Une technologie qui continue de progresser

Des composants électroniques toujours plus petits et performants –  
*Laurent Gouzènes*

L'accumulation du logiciel : de la programmation à « l'informatique dans les nuages » [cloud computing] – *Jean-Paul Figer*

Puissance de la radio – *Jean-Marc Chaduc*

Mais comment fonctionne donc Internet ? – *François Cholley*  
et *Jean-Pierre Dardayrol*

### Comment internet et les TIC changent la vie

Le développement du positionnement par satellites – *Raymond Rosso*

Les NTIC, vectrices de diversité culturelle : La création, la diffusion et la consommation de contenus audiovisuels à l'ère de la convergence numérique – *Guillaume Blanchot*

Opérateurs téléphoniques et sociétés de télévision : une nouvelle forme de concurrence – *Charles Bebert*

Mésusages d'Internet et cyberaddiction : réalité ou fiction ? –  
*Docteur Dan Véléa*

Internet, sécurité et libertés – *Isabelle Falque-Pierrotin*

Les technologies de l'information et de la communication (TIC) au service du développement durable – *Michel Petit*

Les outils de l'Internet concernent les entreprises de toute taille, de tous secteurs. Tous les métiers en sont profondément modifiés –  
*Jean-Michel Yolin*

Le dossier a été coordonné par *François Cholley*

## BULLETIN DE COMMANDE

A retourner aux Éditions ESKA, 12, rue du Quatre-Septembre, 75002 PARIS

Tél. : 01 42 86 55 73 - Fax : 01 42 60 45 35 - <http://www.eska.fr>

Je désire recevoir ..... exemplaire(s) du numéro de *Réalités Industrielles* mai 2009 « Les technologies de l'information et de la communication » (ISBN 978-2-7472-1567-1) au prix unitaire de 23 € TTC.

Je joins  un chèque bancaire à l'ordre des Éditions ESKA

un virement postal aux Éditions ESKA CCP PARIS 1667-494-Z

Nom ..... Prénom .....

Adresse .....

Code postal ..... Ville .....

Publié par  
**ANNALES  
 DES  
 MINES**  
 Fondées en 1794

**F**ondées en 1794, les Annales des Mines comptent parmi les plus anciennes publications économiques. Consacrées hier à l'industrie lourde, elles s'intéressent aujourd'hui à l'ensemble de l'activité industrielle en France et dans le monde, sous ses aspects économiques, scientifiques, techniques et socio-culturels.

**D**es articles rédigés par les meilleurs spécialistes français et étrangers, d'une lecture aisée, nourris d'expériences concrètes : les numéros des Annales des Mines sont des documents qui font référence en matière d'industrie.

**L**es *Annales des Mines* éditent trois séries complémentaires :

**Responsabilité & Environnement,  
 Réalités Industrielles,  
 Gérer & Comprendre.**

#### RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

**Q**uatre fois par an, cette série des *Annales des Mines* propose de contribuer aux débats sur les choix techniques qui engagent nos sociétés en matière d'environnement et de risques industriels. Son ambition : ouvrir ses colonnes à toutes les opinions qui s'inscrivent dans une démarche de confrontation rigoureuse des idées. Son public : industries, associations, universitaires ou élus, et tous ceux qui s'intéressent aux grands enjeux de notre société.

#### RÉALITÉS INDUSTRIELLES

**Q**uatre fois par an, cette série des *Annales des Mines* fait le point sur un sujet technique, un secteur économique ou un problème d'actualité. Chaque numéro, en une vingtaine d'articles, propose une sélection d'informations concrètes, des analyses approfondies, des connaissances à jour pour mieux apprécier les réalités du monde industriel.

#### GÉRER & COMPRENDRE

**Q**uatre fois par an, cette série des *Annales des Mines* pose un regard lucide, parfois critique, sur la gestion « au concret » des entreprises et des affaires publiques. *Gérer & Comprendre* va au-delà des idées reçues et présente au lecteur, non pas des recettes, mais des faits, des expériences et des idées pour comprendre et mieux gérer.

L'INDUSTRIE  
 AU  
 CONCRET

**ABONNEZ-VOUS  
 AUX  
 ANNALES DES MINES**

**RESPONSABILITÉ**

**& ENVIRONNEMENT**

et

**RÉALITÉS INDUSTRIELLES**

et

**GÉRER & COMPRENDRE**

**DEMANDE DE  
 SPÉCIMEN**

## BULLETIN D'ABONNEMENT

A retourner accompagné de votre règlement  
aux Editions ESKA <http://www.eska.fr>  
12, rue du Quatre-Septembre - 75002 Paris  
Tél. : 01 42 86 55 73 - Fax : 01 42 60 45 35

Je m'abonne pour 2010, aux Annales des Mines

### Responsabilité & Environnement

4 numéros	France	Etranger
au tarif de :		
Particuliers	<input type="checkbox"/> 83 €	<input type="checkbox"/> 101 €
Institutions	<input type="checkbox"/> 108 €	<input type="checkbox"/> 130 €

### Responsabilité & Environnement + Réalités industrielles

8 numéros	France	Etranger
au tarif de :		
Particuliers	<input type="checkbox"/> 158 €	<input type="checkbox"/> 190 €
Institutions	<input type="checkbox"/> 198 €	<input type="checkbox"/> 257 €

### Responsabilité & Environnement + Réalités industrielles + Gérer & Comprendre

12 numéros	France	Etranger
au tarif de :		
Particuliers	<input type="checkbox"/> 202 €	<input type="checkbox"/> 255 €
Institutions	<input type="checkbox"/> 299 €	<input type="checkbox"/> 357 €

Nom .....

Fonction .....

Organisme .....

Adresse .....

.....

- Je joins :  un chèque bancaire  
à l'ordre des Editions ESKA  
 un virement postal aux Editions ESKA,  
CCP PARIS 1667-494-Z  
 je souhaite recevoir une facture

## DEMANDE DE SPÉCIMEN

A retourner à la rédaction des Annales des Mines  
120, rue de Bercy - Télédod 797 - 75572 Paris Cedex 12  
Tél. : 01 53 18 52 68 - Fax : 01 53 18 52 72

Je désire recevoir, dans la limite des stocks  
disponibles, un numéro spécimen :

- de la série **Responsabilité & Environnement**  
 de la série **Réalités industrielles**  
 de la série **Gérer & Comprendre**

Nom .....

Fonction .....

Organisme .....

Adresse .....

.....

Publié par  
**ANNALES  
DES  
MINES**  
Fondées en 1794

**F**ondées en 1794, les Annales des Mines comptent parmi les plus anciennes publications économiques. Consacrées hier à l'industrie lourde, elles s'intéressent aujourd'hui à l'ensemble de l'activité industrielle en France et dans le monde, sous ses aspects économiques, scientifiques, techniques et socio-culturels.

**D**es articles rédigés par les meilleurs spécialistes français et étrangers, d'une lecture aisée, nourris d'expériences concrètes : les numéros des Annales des Mines sont des documents qui font référence en matière d'industrie.

**L**es Annales des Mines éditent trois séries complémentaires :

**Responsabilité & Environnement,  
Réalités Industrielles,  
Gérer & Comprendre.**

### RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

**Q**uatre fois par an, cette série des *Annales des Mines* propose de contribuer aux débats sur les choix techniques qui engagent nos sociétés en matière d'environnement et de risques industriels. Son ambition : ouvrir ses colonnes à toutes les opinions qui s'inscrivent dans une démarche de confrontation rigoureuse des idées. Son public : industries, associations, universitaires ou élus, et tous ceux qui s'intéressent aux grands enjeux de notre société.

### RÉALITÉS INDUSTRIELLES

**Q**uatre fois par an, cette série des *Annales des Mines* fait le point sur un sujet technique, un secteur économique ou un problème d'actualité. Chaque numéro, en une vingtaine d'articles, propose une sélection d'informations concrètes, des analyses approfondies, des connaissances à jour pour mieux apprécier les réalités du monde industriel.

### GÉRER & COMPRENDRE

**Q**uatre fois par an, cette série des *Annales des Mines* pose un regard lucide, parfois critique, sur la gestion « au concret » des entreprises et des affaires publiques. *Gérer & Comprendre* va au-delà des idées reçues et présente au lecteur, non pas des recettes, mais des faits, des expériences et des idées pour comprendre et mieux gérer.

L'INDUSTRIE  
AU  
CONCRET

## For our English-speaking readers...

### ADAPTING TO CLIMATE CHANGE

#### Editorial

Pierre Couveinhes

#### Foreword

Paul-Henri Bourrelier

### I – Adaptation

#### Reflections on the climate

Emmanuel Le Roy Ladurie

Emmanuel Le Roy Ladurie's *Histoire humaine et comparée du climat* counts three major volumes on the history of the climate and, like Montesquieu, on the relations between history and climate: *Canicules et glaciers XIIIe-XVIIIe, Disettes et révolutions (1740-1860)* and *Le réchauffement de 1860 à nos jours*. In an article in the summer 2009 issue of *Commentaire*, he presented his "reflections on the climate", which mainly focus on the 20th century. This article can serve as an introduction to the trilogy, without being a summary of it. We thank the author and the journal *Commentaire* for allowing us to reprint this article in our current issue.

#### Ideas about the changing climate: From God's creation to man's responsibility

René Favier

Is the climate changing? Do humanity's actions affect this change? Raising such questions amounts to a sacrilege. A short while ago, *Courrier International* ran the headline "Climate: Global warming does not exist" on its cover. But this title was prudently followed by an asterisk referring to a politically correct subtitle at the bottom of the page: "At least, some think so".

#### Lessons from geological history and the great extinction of species

Patrick de Wever

Talk about biodiversity often refers to endangered species, such as the Pyrenees bear (since Cannelle died on 1 November 2004), or the comeback of the wolf in the Alps or the elephant in Africa... animals that are symbolic, nearly mythical – the teddy bear of our younger years, held in our arms while listening to stories about the wolf and Little Red Riding Hood, or Babar. Now that we have grown up, we should not forget that other living beings – worms, insects, bacteria, etc. – are becoming extinct. Whether considered to be useful, pleasant or harmful, they are a part of biodiversity.

#### Climate, adaptation, evolution and biodiversity

Gilles Escarguel

The biosphere – the thin layer surrounding our planet wherein living beings evolve – is a complex adaptive system, a network of multiple interactions where the existence of each being, regardless of its attributes, is linked to the existence of surrounding beings. The major physical, mathematical properties of this complexity are now

known: nonlinearity, metastability, self-organization, emergent properties, invariance to scale, irreversibility, sensitivity to initial conditions, chaos... They have numerous biological, ecological and environmental implications.

#### Local areas faced with climate change

Martine Tabeaud

Various parties are involved in actions for attenuating global warming and adapting to a changing climate: international organizations, groups of nation-states, regions, local authorities, nongovernmental organizations, political parties, labor unions, banks, insurance companies, researchers, transnational firms, small businesses, mass marketing, transportation, the media and citizens.

#### From extreme events to figures of catastrophes

Paul Henri Bourrelier and Jean Dunglas

Major climate-related events have a place in myths about the origin and destruction of the world. The Flood in the Bible has an equivalent in all religions. It is not surprising that the announced climate change has revived literally apocalyptic predictions, in other words: revelations.

#### Adapting to what? What is humanity's place in nature?

Michel Juffé

Adapting to a changing climate or to any other disturbance in the biosphere does not just call for technical or economic considerations, nor for a "political economy". Everyone around us is talking about "sustainable development" and the need to more "soberly" consume energy and to imagine a "different" growth (often without any specifics). We are under pressure from two sources: those who invoke a "natural" world whose equilibrium we must preserve and those who advocate a "cultural" (human) world whose originality we must maintain.

### II – Public policies and citizen actions

#### The place of adaptation in climate policies

Marc Gillet

Given inevitable changes, there are two forms of prevention. Released in 2007, the fourth report by the Intergovernmental Panel on Climate Change has dispelled any doubts that might yet exist about whether or not global warming has started and is caused by human activities and about its intensification during the coming decades.

#### France's policy for adapting to climate change

Pascal Dupuis

France's policy for adapting to climate change has two pillars: reduce the emission of greenhouse gases ("attenuation") and prepare for the inevitable changes to come ("adaptation"). Most sectors now feel concerned in the process of attenuation, given the compulsory objectives set at the international and European levels. However it is also important for them to become involved in the process of adaptation.

***Tilling the planet: More biomass, less greenhouse gases***

François Papy

The 21st century will have to take up two challenges. First of all, the production of crops on the planet has to increase in order to satisfy the growing needs of a population of about eight or nine billion by 2050: first of all, the need for food (which, under certain hypotheses, will double) but also needs related to energy (in various forms), textiles and products used by industry. The second challenge is to attenuate the climatic changes already under way and adapt to them: attenuate in order to remain within limits that allow for adaptation, since it is wise to take into account an always possible acceleration of the processes under way.

***Imagining and planning urban agglomerations: A few examples from Europe***

Brigitte Mazière

More than 70% of the European population — and 80% of the French — is concentrated in an urban environment. The growth of urban areas is a general trend. In the past few years, a few major events have illustrated how natural catastrophes can affect urban agglomerations: the December 1999 storms that swept over western Europe, the exceptional flooding in central Europe during the summer of 2002, and the heat wave in the summer of 2003. Outside Europe, other events have recently completed the picture: the December 2004 tsunami in Asia or hurricane Katrina's devastation of New Orleans in August 2005.

***For a dynamic management of coastal areas***

Nicole Lenôtre

The coastline is increasingly attracting the attention of policy-makers, managers and citizens. The United Nations estimates that

80% of the world's population will be living on a 100 km-wide strip along the coast by 2010. Eight out of ten of the biggest agglomerations are located on the coast: New York, Tokyo, Bombay.... France cannot dodge this trend: the coastal population is growing at an annual rate of 3,8% as compared with only 3,3% for the country as a whole.

***Financial coverage of extreme events related to the climate***

Erwann Michel-Kerjan

In the context of climate-related events that will be potentially ever more devastating, who will cover the costs of disasters? In industrialized lands, insurance traditionally plays a leading role, by covering individuals and firms in the case of major natural risks with an economic impact. Parties to an insurance contract pay moderate premiums compared with potential losses. Insurance is now a major revenue-generating industry worldwide. But traditional insurance systems are showing their limitations, as they deal with major catastrophes, which no longer happen on the average of once every twenty years (thus allowing the companies time to collect enough premiums), but more and more often...

***Ethics, the guideline for adaptations***

A discussion between **Paul-Henri Bourrelier** (Ingénieur général des Mines), **Alain Grimfeld**, (chairman of the Comité Consultatif National d'Ethique), **Yves le Bars** (president of GRET, a professional association of solidarity and international cooperation) and **Claudine Schmidt-Lainé** (scientific director of CEMAGREF).

## An unsere deutschsprachigen Leser...

### DIE ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL

#### Leitartikel

Pierre Couveinhes

#### Vorwort

Paul-Henri Bourrelier

### I - Die Anpassung

#### Betrachtungen über das Klima

Emmanuel Le Roy Ladurie

Emmanuel Le Roy Ladurie hat drei beachtenswerte Bände über die Geschichte des Klimas und, nach dem Vorbild Montesquieus, über die Wechselwirkungen zwischen Geschichte und Klima veröffentlicht : eine vergleichende Geschichte der Menschen und des Klimas.

Band 1, Hitzeperioden und Gletscher vom 13.zum18. Jh. ;  
Band 2, Hungersnöte und Revolutionen (1740 –1860) ;  
Band 3, Die Klimaerwärmung von 1860 bis heute.

In einem Artikel, der im Sommer 2009 in der Nummer 126 der Revue *Commentaire* erschien, hat er die „*Considérations sur le climat*“, die hauptsächlich das 20. Jh. betreffen, vorgestellt. Ohne die Trilogie zusammenzufassen, bietet er eine Einführung in die Thematik. Wir sprechen dem Autor und der Revue *Commentaire* unseren herzlichen Dank dafür aus, dass wir diesen Artikel in dieser Nummer von *Responsabilité & Environnement* veröffentlichen dürfen.

#### Die Anschauungen zum Klimawandel : von der göttlichen Schöpfung zur Verantwortung des Menschen

René Favier

Verändert sich das Klima ? Ist der Mensch für diesen Wandel verantwortlich ? Es gilt heute fast als Sakrileg, solche Fragen zu stellen. Gewiss, auf der Titelseite einer der letzten Nummern des *Courrier International* war zu lesen : „Klima : die Erderwärmung existiert nicht“. Aber dieser Titel war wohlweislich mit einem Sternchen versehen, das auf einen vorsichtigen und politisch korrekten Untertitel verwies : „Wenigstens glauben es einige“..

#### Die Lehren aus der Erdgeschichte und aus dem großen Artensterben

Patrick de Wever

Wer das Thema der Artenvielfalt anspricht, kann oft nicht umhin, an den Bär der Pyrenäen zu denken, denn „Canelle“ ist durch seinen Tod am 1. November 2004 zum Symbol geworden. Man denkt auch an die Rückkehr des Wolfs in den Alpen, an den Elefanten in Afrika... meistens an Tiere, denen etwas Mythisches anhaftet : an den Teddybär unserer Kindheit, den wir im Arm hielten, während wir Geschichten von Rotkäppchen oder Babar, dem kleinen Elefanten lauschten... Jetzt, da wir erwachsen sind, dürfen wir nicht vergessen, dass andere Organismen aussterben (Würmer, Insekten, Bakterien, etc.), ob sie nützlich, angenehm oder im Gegenteil als schädlich gelten, denn auch sie tragen zur Artenvielfalt bei.

#### Klima, Anpassung, Evolution und Artenvielfalt

Gilles Escaguel

Die Biosphäre, diese dünne Hülle unseres Planeten, die allem Leben Raum gibt, ist ein komplexes Anpassungssystem : ein Netz von

vielfältigen Wechselwirkungen, in dem, über die einzelnen Charakteristika hinaus, jeder Organismus eng von der Existenz der ihn umgebenden Lebewesen abhängt. Die physikalisch-mathematischen Konsequenzen dieser Komplexität sind heute in gossen Zügen bekannt : Nicht-Linearität, Metastabilität, Selbstorganisation, emergente Eigenschaft, Skaleninvarianz, Unumkehrbarkeit, Relevanz der Anfangsbedingungen, Chaos... Die biologischen, ökologischen und umweltbezogenen Implikationen solcher Charakteristika sind vielfältig.

#### Die Territorien angesichts des Klimawandels

Martine Tabeaud

An den Maßnahmen zur Eindämmung der Erderwärmung und zur Anpassung an den Klimawandel sind die verschiedensten Akteure beteiligt : internationale Organisationen, Staatengruppen, Regierungen, Regionen, Kommunen, Städtegemeinschaften, Nichtregierungsorganisationen, politische Parteien, Gewerkschaften, Banken, Versicherungsgesellschaften, Wissenschaftler, multinationale Unternehmen, kleine und mittlere Unternehmen, Institute für Projektmanagement, Einzelhandelsgroßbetriebe, Transportunternehmen, die Medien, und die Bürger...

#### Vom Extremwetter zu den Stilmitteln der Katastrophendarstellung

Paul Henri Bourrelier und Jean Dunglas

Die großen Klimaereignisse nehmen einen privilegierten Platz unter den Mythen über den Ursprung und die Zerstörung der Welt ein. Die Sintflut der Bibel hat ihr Gegenstück in allen Religionen. Es überrascht also nicht, dass die Ankündigung des Klimawandels eine wahre Renaissance von apokalyptischen Voraussagen im eigentlichen Sinn auslöst, d.h. von Offenbarungen...

#### Wer passt sich woran an ? Welchen Platz nimmt der Mensch in der Natur ein ?

Michel Juffé

Das Nachdenken über die Anpassung an den Klimawandel oder an jedwede andere Störung der Biosphäre bewegt sich nicht nur in einem technischen oder technologisch-ökonomischen, oder sogar volkswirtschaftlichen Rahmen. Selbst wenn der öffentliche Diskurs, insbesondere zum Thema „Nachhaltigkeit“, anerkennt, dass unser Energieverbrauch „sparsamer“ werden und ein „anderes“ Wachstum (oft ohne genauere Angaben) angestrebt werden muss, sind wir im Allgemeinen einem doppelten Druck unterworfen : einerseits dem der Anhänger einer „natürlichen“ Welt, deren Gleichgewichte wir „schützen“ müssen, und andererseits, dem der Befürworter einer humanen „kulturellen“ Welt, deren Originalität wir „bewahren“ müssen.

### II – Öffentliche Politiken und die Einbeziehung der Zivilgesellschaft

#### Der Platz der Anpassung in der Klimapolitik

Marc Gillet

Unausweichliche Veränderungen, zwei Formen der Gegenmaßnahmen : Der 4. Sachstandsbericht des Weltklimarates, der 2007 erschien, hat alle noch möglichen Zweifel daran zerstreut, dass die Klimaerwärmung schon begonnen hat, dass sie vom Menschen verursacht wurde und dass sie in den nächsten Jahrzehnten fortschreiten wird.

**Frankreichs Politik zur Anpassung an den Klimawandel**

Pascal Dupuis

Die französische Klimapolitik verfolgt zwei Ziele : die Reduzierung der Treibhausgase („Eindämmung“) und die Vorbereitung auf die nunmehr unausweichlichen Klimaveränderungen („Anpassung“). Man fühlt sich zwar heute in den meisten Tätigkeitsfeldern und Lebensbereichen vom Ziel der Eindämmung des Klimawandels betroffen, insbesondere aufgrund der Zwänge internationaler und europäischer Abmachungen, aber es ist auch wichtig, dass man sich auch die Problematik der Anpassung an den Klimawandel zu Eigen macht.

**Machen wir den Planeten zum Garten : mehr Biomasse, weniger Treibhausgas**

François Papy

Das 21. Jh. wird zwei Herausforderungen annehmen müssen : erstens gilt es die pflanzliche Produktion des Planeten zu erhöhen, um dem wachsenden Bedarf einer Bevölkerung gerecht zu werden, die im Jahr 2050 auf etwa 8 bis 9 Milliarden angestiegen sein wird. An vorderster Stelle stehen der Nahrungsmittelbedarf, der sich gewissen Hypothesen zufolge verdoppeln wird, der Energiebedarf in seinen verschiedenen Formen (Treibstoffe, Brennstoffe) und der Bedarf an Faserstoffen und verschiedenen anderen Basisprodukten für die Industrie ; zweitens gilt es, die Klimaerwärmung, die bereits begonnen hat, einzudämmen, und anpassungsstrategien zu entwickeln. Eine Eindämmung ist notwendig, um in den Grenzen zu bleiben, innerhalb derer es noch möglich ist, sich anzupassen, denn es ist auf jeden Fall ratsam, den möglichen Beschleunigungsprozessen zuvorzukommen.

**Stadtplanung und Raumgestaltung in Metropolregionen : einige Beispiele europäischer Metropolen**

Brigitte Mazière

Die europäische Bevölkerung ist zu mehr als 70 % in städtischen Gebieten konzentriert und 80 % der Franzosen leben in Städten. Das urbane Wachstum ist eine allgemeine Tendenz und gewisse bedeutende Naturereignisse in den letzten Jahren haben das Ausmaß der Zerstörungen vor Augen geführt, von denen die Metropolen betroffen sein können : die Stürme im Dezember 1999, die über den westeuropäischen Ländern tobten, die außergewöhnlichen Überschwemmungen im Zentrum Europas im Sommer 2002, oder die Hitzewelle im Sommer 2003. Außerhalb Europas haben andere Ereignisse sich dem Gedächtnis eingeprägt : im Dezember 2004 der Tsunami in Asien, der Wirbelsturm Katrina, der im August 2005 New-Orleans verwüstete...

**Für eine dynamische Verwaltung der Küsten**

Nicole Lenôtre

Die Küste ist ein Raum, auf den sich mehr denn je die Aufmerksamkeit der politischen Akteure, der Verwalter und der Bürger fokussiert. Tatsächlich schätzen die Vereinten Nationen, dass 2010 weltweit 80 % der Weltbevölkerung in einem Küstenstreifen von 100 km leben wird, und 8 der 10 größten Ballungsräume in Küstengebieten liegen (New York, Tokyo, Bombay,...). Frankreich bildet diesbezüglich keine Ausnahme, denn hier wächst die Küstenbevölkerung jährlich um 3,8 %, während sie im Durchschnitt auf dem gesamten Territorium nur um 3,3 % zunimmt...

**Die Kostendeckung der extremen Klimaereignisse**

Erwann Michel-Kerjan

In einem Kontext von Klimaereignissen, die potentiell immer zerstörerischer werden, stellt sich längst die Frage : wer übernimmt die Kosten solcher Katastrophen ? In den industrialisierten Ländern haben die Versicherungsgeber traditionell eine wichtige Rolle auf diesem Gebiet gespielt, indem sie die die Personen und Unternehmen, die im Verhältnis zu den potentiellen Verlusten relativ bescheidene Beiträge zu zahlen haben, gegen die wirtschaftlichen Folgen der großen natürlichen Risiken absichern. Das Versicherungswesen ist heute (dies ist relativ unbekannt) hinsichtlich der generierten Einkünfte einer der wichtigsten Wirtschaftssektoren in der Welt. Dennoch stoßen die traditionellen Versicherungssysteme heute an ihre Grenzen, denn sie sind nicht mehr mit einer großen Katastrophe konfrontiert, die durchschnittlich alle 20 Jahre einträte (was es ermöglichen würde, in den Zwischenjahren genügend Prämien zu akkumulieren), sondern mit einer Vielzahl von Katastrophen, die zeitlich dicht aufeinanderfolgen...

**Die Ethik, der rote Faden der Anpassung**

Gespräch zwischen Paul-Henri Bourrelief (Ingénieur général des Mines), Alain Grimfeld (Präsident des französischen Ethikrates), Yves le Bars (Präsident des französischen Berufsverbands für Forschung, Solidarität und internationalen technologischen Austausch GRET) und Claudine Schmidt-Lainé (Directrice scientifique des französischen Zentrums für Landmaschinenwesen, Landtechnik, Gewässer und Forstwesen CEMAGREF)

\*\*\*\*\*

**Zum Gedächtnis an François Ascher**

Marie-Josèphe Carrieu-Costa

## A nuestros lectores de lengua española...

### LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

#### Editorial

Pierre Couveinhes

#### Prefacio

Paul-Henri Bourrelier

### I – La adaptación

#### Consideraciones sobre el clima

Emmanuel Le Roy Ladurie

Emmanuel Le Roy Ladurie ha publicado tres volúmenes sobre la historia del clima y, al igual que Montesquieu, sobre las relaciones entre la historia y el clima: historia humana a la luz del clima.

Tomo 1, Canículas y nevados del siglo XIII al XVIII;

Tomo 2, Escasez y revoluciones (1740-1860)

Tomo 3, El calentamiento de 1860 a nuestros días.

En un artículo publicado en el número 126 del verano de 2009 de la revista *Commentaire*, el autor presentó estas «Consideraciones sobre el clima», que tratan principalmente del siglo XX. Sin querer resumir su trilogía, estas consideraciones ofrecen una introducción a su lectura. Agradecemos al autor y a la revista *Commentaire* por haber aceptado que reproduzcamos el artículo en este número de *Responsabilités et Environnement*.

#### Las representaciones del cambio climático, de la creación divina a la responsabilidad humana

René Favier

¿El clima cambia? ¿La acción del hombre tiene una influencia en este cambio? Actualmente estas preguntas parecen un sacrilegio, pero hace poco *Courrier International* proponía este título en la portada de uno de sus números: «Clima: el calentamiento no existe». Ahora bien, este título tenía un prudente asterisco que enviaba a un subtítulo de pie de página prudente y políticamente correcto: «Al menos eso es lo que algunos creen»...

#### Las lecciones de la historia geológica y de las grandes extinciones de las especies

Patrick de Wever

En Francia, cuando se habla de biodiversidad a menudo se piensa en el oso de los Pirineos, desde la desaparición de la osa *Cannelle* (el 1 de noviembre de 2004) que se convirtió en un símbolo. También se piensa en el regreso del lobo en los Alpes, en el elefante de África... todos estos animales un poco míticos: el osito de nuestra infancia que abrazábamos escuchando los cuentos de Caperucita roja o Dumbo... Ahora que somos adultos, no debemos olvidar la desaparición de otros organismos (gusanos, insectos, bacterias, etc.), ya sean útiles, agradables o al contrario sean considerados como molestos; ya que todos estos también contribuyen a la biodiversidad.

#### Clima, adaptación, evolución y biodiversidad

Gilles Escarguel

La biosfera, esta fina película superficial de nuestro planeta en la que evolucionan los seres vivos, es un sistema adaptable complejo; una red de interacciones múltiples donde, más allá de sus propias

características, la existencia misma de cada agente está vinculada con la vida de los que lo rodean. Las consecuencias físico-matemáticas de esta complejidad se conocen actualmente de forma somera: No-linealidad, meta-estabilidad, auto-organización, propiedad emergente, invariabilidad de escala, irreversibilidad, sensibilidad a las condiciones iniciales, caos... Las implicaciones biológicas, ecológicas y ambientales de tales características son diversas.

#### Los territorios frente al cambio climático

Martine Tabeaud

Las acciones de atenuación del calentamiento atmosférico y de adaptación al cambio climático hacen que intervengan diversos actores: las organizaciones internacionales, los grupos de Estados, los Estados, las regiones, las ciudades, los sindicatos inter-comunales, las ONG, los partidos políticos, los sindicatos, los bancos, las empresas de seguros, los investigadores, las empresas multinacionales, las PYME y las PYMI, la gran distribución, los transportes, los medios y los ciudadanos...

#### De los eventos extremos a las representaciones de la catástrofe

Paul Henri Bourrelier y Jean Dunglas

Los grandes eventos climáticos ocupan un lugar importante entre los mitos sobre el nacimiento y la destrucción del mundo. El diluvio bíblico tiene su equivalente en todas las religiones. Por lo tanto no es sorprendente que el anuncio del cambio climático provoque un verdadero renacimiento de las predicciones apocalípticas en el sentido propio, es decir, revelaciones...

#### ¿Adaptar quién a qué? ¿Cuál es el lugar del hombre en la naturaleza?

Michel Juffé

Adaptarse al cambio climático o a cualquier otra perturbación de la biosfera no sólo implica una reflexión técnica o técnico-económica, incluso de economía política. Incluso si las creencias actuales, principalmente en materias de «desarrollo sostenible», admiten que nuestros modos de consumo de energía deben volverse más «sobrios» y que debemos considerar «otro» crecimiento (en ocasiones sin dar más precisiones). Por lo general, estamos sometidos a una *doble presión*: por una parte, la de los defensores de un mundo «natural» cuyos equilibrios debemos conservar y por otra parte, la de los partidarios de un mundo «cultural» humano, cuya originalidad debemos mantener.

### II – Políticas públicas y acciones de todos

#### El lugar de la adaptación en las políticas climáticas

Marc Gillet

Cambios inevitables, dos formas de prevención: El 4º informe de evaluación del IPCC, (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) publicado en 2007, disipó las dudas que podían persistir sobre el hecho de que el cambio climático ya ha comenzado, que es provocado por las actividades humanas y que se amplificará durante las próximas décadas...

#### Las políticas francesas en materias de adaptación al cambio climático

Pascal Dupuis

Las políticas climáticas francesas se basan en dos ideas: reducir las emisiones de gases de efecto invernadero («atenuación») y prepararse a los cambios climáticos inevitables («adaptación»). Si la mayor parte de los sectores de actividad y de vida se consideran implicados con la

atenuación del cambio climático, principalmente debido a los objetivos restrictivos europeos e internacionales, es importante que los mismos sectores comiencen a sentirse concernidos por la problemática de la adaptación al cambio climático.

### **Cultivemos el planeta: más biomasa, menos gases de efecto invernadero**

François Papy

El siglo XXI deberá afrontar dos desafíos: el primero, aumentar la producción vegetal del planeta para hacer frente a las necesidades crecientes de una población, que debería ser del orden de 8 a 9 mil millones de habitantes en 2050; necesidades alimenticias, principalmente, que según ciertas hipótesis deberían duplicarse, necesidades en energía, bajo diferentes formas (carburantes, combustibles), necesidades en fibras y en otros productos de base de las industrias. El segundo desafío, atenuar la evolución del clima, que ya está en marcha, y adaptarse a ella. Atenuarla para que esté dentro de los límites en los que todavía es posible adaptarse, ya que es prudente prevenir los procesos de aceleración que siguen siendo posibles.

### **Pensar y reformar las aglomeraciones urbanas. Algunos ejemplos de metrópolis europeas**

Brigitte Mazière

La población europea se concentra en más del 70% en un entorno urbano y el 80 % de los franceses viven en la ciudad. El crecimiento urbano es una tendencia general, y ciertos acontecimientos naturales mayores, acontecidos estos últimos años, han puesto en evidencia la amplitud de los efectos que pueden afectar las metrópolis. Las tormentas de diciembre de 1999 que afectaron los países de Europa occidental, las inundaciones excepcionales en Europa central durante el verano de 2002, o incluso la canícula del verano de 2003. Fuera de Europa otros acontecimientos han marcado la historia mundial: el tsunami en Asia, en diciembre de 2004, el ciclón Katrina que devastó la Nueva Orleans, en agosto de 2005...

### **Para una gestión dinámica de las costas**

Nicole Lenôtre

La costa es un espacio que, más que nunca, concentra la atención de los actores políticos, de los administradores y de los ciudadanos. En

efecto, a nivel mundial, las Naciones Unidas estiman que en 2010, el 80% de la población mundial vivirá en una franja litoral de 100 km, y 8 de las 10 aglomeraciones más importantes del mundo están situadas sobre la costa (Nueva York, Tokio, Bombay,...). Francia no escapa a esta tendencia y se constata un crecimiento anual del 3,8% de la población litoral, cuando la media es sólo del 3,3% sobre todo el territorio.

### **La cobertura financiera de los eventos climáticos extremos**

Erwann Michel-Kerjan

La pregunta ya se ha hecho, en el contexto de eventos climáticos potencialmente cada vez más devastadores, ¿quién asumirá los costes de tales desastres? En los países industrializados, las aseguradoras han desempeñado tradicionalmente un papel importante en este campo, cubriendo los individuos y las empresas contra las consecuencias económicas de los grandes riesgos naturales, mediante el pago de primas de un monto relativamente bajo, frente a las pérdidas potenciales. Hoy en día, aunque no sepa, el seguro es uno de los más importantes sectores económicos en el mundo, en términos de rentas engendradas por sus actividades. Sin embargo, los sistemas de seguro tradicionales muestran hoy sus límites, confrontados ya no a una gran catástrofe que ocurre cada 20 años en promedio (lo que permitía recolectar bastantes primas los otros años), sino a una multiplicación de catástrofes en un tiempo más reducido.

### **La ética, hilo conductor de la adaptación**

Entrevista de Paul-Henri Bourrelief (Ingeniero general de minas) con Alain Grimfeld, (Presidente del Comité consultor nacional de ética), Yves le Bars (Presidente del GRET, asociación profesional de solidaridad y de cooperación internacional) y Claudine Schmidt-Lainé (Directora científica del CEMAGREF).

\*\*\*\*\*

### **En memoria de François Ascher**

Marie-Josèphe Carrieu-Costa