

N° 3603
ASSEMBLÉE NATIONALE
CONSTITUTION DU 4 OCTOBRE 1958
ONZIÈME LÉGISLATURE

N° 224
SÉNAT

SESSION ORDINAIRE DE 2001-2002

Enregistré à la Présidence de l'Assemblée nationale
le 13 février 2002

Annexe au procès-verbal de la séance du
13 février 2002

**OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION
DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET
TECHNOLOGIQUES**

RAPPORT

sur

L'ÉVALUATION DE L'AMPLEUR DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES,
DE LEURS CAUSES ET DE LEUR IMPACT PRÉVISIBLE SUR LA GÉOGRAPHIE DE LA FRANCE
À L'HORIZON 2025, 2050 ET 2100,

par

M. Marcel DENEUX,
Sénateur.

Tome I - Rapport

Déposé sur le Bureau de l'Assemblée nationale
par M. Jean-Yves LE DÉAUT
Président de l'Office.

Déposé sur le Bureau du Sénat
par M. Henri REVOL
Premier Vice-Président de l'Office.

SOMMAIRE

Pages

| | |
|--|-----------|
| AVERTISSEMENT : POURQUOI UN DOUBLE CD-ROM ? | 1 |
| REMERCIEMENTS | 2 |
| INTRODUCTION | 5 |
| | |
| PREMIERE PARTIE : CLIMATOLOGIE..... | 14 |
| | |
| CHAPITRE PREMIER : LE CLIMAT..... | 14 |
| I. LE CLIMAT EST PLANÉTAIRE | 14 |
| A. LA CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE..... | 15 |
| B. LA CIRCULATION OCÉANIQUE..... | 16 |
| II. LA VARIABILITÉ DU CLIMAT | 16 |
| III. LA COMPLEXITÉ DU CLIMAT | 18 |
| A. LE CYCLE DE L'EAU | 18 |
| B. LE CYCLE DU CARBONE..... | 19 |
| IV. LES CONTRASTES DU CLIMAT | 21 |
| V. LE CLIMAT EST MÉCONNU..... | 23 |
| A. LA MÉCONNAISSANCE DES CLIMATS DU PASSÉ | 23 |
| B. LES INCONNUES DU CLIMAT PRÉSENT..... | 24 |
| C. LES CLIMATS FUTURS RESTENT À DÉCOUVRIR | 26 |
| VI. LE CLIMAT N'EST PAS MAITRISABLE PAR L'HOMME | 26 |
| | |
| CHAPITRE SECOND : L'EFFET DE SERRE..... | 28 |
| I. GRACE A L'EFFET DE SERRE, UNE TERRE ACCUEILLANTE..... | 28 |
| II. LA RÉALITÉ DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE..... | 29 |
| III. LES CAUSES DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE..... | 30 |

| | |
|---|-----------|
| A. LES CAUSES NATURELLES DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE..... | 30 |
| 1. <i>La variabilité des rayonnements solaires</i> | 30 |
| 2. <i>Rayonnements solaires et températures</i> | 31 |
| B. LES CAUSES HUMAINES DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE | 31 |
| IV. L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE RÉSULTE DE SOURCES REGIONALES DIVERSES | 32 |
| V. L'IRRÉVERSIBILITÉ DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE ET DU RYTHME DE CELLE-CI | 33 |
| A. LES CAUSES NATURELLES DE L'IRRÉVERSIBILITÉ | 33 |
| B. LES CAUSES HUMAINES DE L'IRRÉVERSIBILITÉ..... | 33 |
| | |
| DEUXIÈME PARTIE : GAZ À EFFET DE SERRE ET AÉROSOLS | 35 |
| | |
| CHAPITRE PREMIER : LES GAZ A EFFET DE SERRE | 35 |
| I. LES GAZ À EFFET DE SERRE NON EXCLUSIVEMENT GÉNÉRÉS PAR L'HOMME | 35 |
| A. LA VAPEUR D'EAU | 36 |
| B. LE DIOXYDE DE CARBONE (CO ₂) | 36 |
| C. LE MÉTHANE (CH ₄)..... | 37 |
| D. LE PROTOXYDE D'AZOTE (N ₂ O)..... | 38 |
| E. L'OXYDE D'AZOTE (NO _x) | 38 |
| F. L'OZONE (O ₃)..... | 39 |
| G. LES HALOCARBURES | 39 |
| II. LES GAZ À EFFET DE SERRE GÉNÉRÉS PAR L'HOMME | 39 |
| A. LA VAPEUR D'EAU | 39 |
| B. LE DIOXYDE DE CARBONE (CO ₂) | 40 |
| C. LE MÉTHANE (CH ₄)..... | 40 |
| D. LE PROTOXYDE D'AZOTE (N ₂ O)..... | 41 |
| E. L'OXYDE D'AZOTE (NO _x) | 42 |
| F. L'OZONE (O ₃)..... | 42 |
| G. LES HALOCARBURES | 42 |

| | |
|--|-----------|
| H. LE MONOXYDE DE CARBONE (CO) | 43 |
| III. LA LISTE DES GAZ À EFFET DE SERRE..... | 44 |
| IV. LES QUELQUES GAZ À EFFET DE SERRE VISÉS PAR LES CONVENTIONS INTERNATIONALES | 45 |
| V. LES EFFETS RADIATIFS RESPECTIFS DES GAZ À EFFET DE SERRE ET LEURS RYTHMES D'ÉMISSION ET DE DISSIPATION | 46 |
| VI. LE RÔLE DE LA BIOSPHERE CONTINENTALE DANS LE CYCLE DU CARBONE..... | 47 |
| A. LA MESURE DE LA CONCENTRATION EN DIOXYDE DE CARBONE..... | 47 |
| B. L'INFLUENCE DE LA CONCENTRATION EN DIOXYDE DE CARBONE SUR LA PHOTOSYNTHESE..... | 49 |
| CHAPITRE DEUXIEME : LES AÉROSOLS ET L'EFFET DE SERRE | 51 |
| I. LA NATURE DES DIFFÉRENTS AÉROSOLS | 51 |
| II. LE REFROIDISSEMENT DE LA TROPOSPHERE PAR LES AÉROSOLS | 53 |
| CHAPITRE TROISIEME : LE RÔLE DE L'HOMME DANS L'ÉMISSION DE GAZ A EFFET DE SERRE | 55 |
| I. LE RECOURS MASSIF RECENT AUX COMBUSTIBLES FOSSILES | 55 |
| A. LE CHARBON..... | 55 |
| B. LE PÉTROLE | 57 |
| C. LE GAZ NATUREL | 58 |
| D. L'ÉLECTRICITÉ ISSUE DE COMBUSTIBLES FOSSILES | 58 |
| II. L'ÉMISSION DE GAZ À EFFET DE SERRE PAR LES ACTIVITÉS TRADITIONNELLES | 59 |
| A. L'AGRICULTURE | 59 |
| 1. Les émissions de protoxyde d'azote à l'échelle agronomique | 59 |
| 2. Le stockage de carbone par les sols français | 61 |
| B. L'ÉLEVAGE..... | 64 |
| C. LA SYLVICULTURE | 64 |
| 1. L'importance des forêts | 65 |
| 2. Le bilan carbone des forêts | 67 |
| D. LES ÉMISSIONS DE MÉTHANE PAR LES DECHARGES DE DÉCHETS MÉNAGERS | 70 |

| | |
|--|-----------|
| III. L'INDUSTRIE ET LES GAZ À EFFET DE SERRE..... | 71 |
| A. LES ÉMISSIONS MASSIVES DE L'INDUSTRIE..... | 71 |
| B. LES POSSIBILITÉS DE CONTRÔLE DES ÉMISSIONS INDUSTRIELLES | 73 |
| IV. LES TRANSPORTS ET LES GAZ À EFFET DE SERRE..... | 73 |
| A. LA ROUTE | 75 |
| 1. Les performances techniques des véhicules automobiles de transport de voyageurs | 75 |
| 2. Les caractéristiques des véhicules compte tenu de la demande | 79 |
| 3. L'état et l'entretien du parc | 80 |
| 4. Les véhicules automobiles à deux roues..... | 81 |
| 5. Les véhicules de transport de marchandises | 81 |
| 6. Les solutions | 81 |
| B. LE RAIL..... | 82 |
| C. L'AÉRIEN | 83 |
| 1. Les progrès techniques..... | 83 |
| 2. Les usagers du transport aérien | 84 |
| 3. Les connaissances sur les émissions de gaz à effet de serre par le transport aérien | 84 |
| D. LA VOIE D'EAU..... | 86 |
| V. L'HABITAT ET LES GAZ A EFFET DE SERRE..... | 87 |
| A. L'URBANISME..... | 87 |
| B. LA CONSTRUCTION | 88 |
| C. LE CHAUFFAGE | 90 |
| D. LA CLIMATISATION..... | 91 |
| E. LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE..... | 91 |
| CHAPITRE QUATRIÈME : LES CONSÉQUENCES DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE..... | 92 |
| I. LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL A ACCRU LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE..... | 92 |
| II. DES ACTIVITÉS TRADITIONNELLES ÉMETTRICES DE GAZ À EFFET DE SERRE | 92 |
| A. L'ÉVALUATION DES ÉMISSIONS DE PROTOXYDE D'AZOTE (N ₂ O) PAR LES SOLS | 92 |
| 1. Les émissions de protoxyde d'azote par les sols agricoles en France | 93 |
| 2. Les modèles opérationnels de mesure des émissions de protoxyde d'azote | 95 |
| B. L'ÉMISSION ET LA CONSOMMATION DE MÉTHANE (CH ₄) PAR LES SOLS | 97 |
| C. LES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'AGRICULTURE | 100 |

| | |
|--|------------|
| III. TERRITOIRES ET GAZ À EFFET DE SERRE..... | 101 |
| A. L'ÉLEVATION DU NIVEAU DE LA MER | 101 |
| 1. L'élévation du niveau moyen de la mer | 101 |
| 2. La nature et les caractéristiques des plages..... | 102 |
| 3. La nature et l'importance de l'élévation du niveau de la mer | 103 |
| 4. Les constructions destinées à protéger les plages | 103 |
| 5. Les coûts financiers et politiques de résistance à la mer | 104 |
| 6. Les impacts des changements climatiques sur les espaces côtiers spécifiques | 107 |
| 7. Des phénomènes spécifiques liés à l'élévation du niveau de la mer..... | 109 |
| B. LES MODIFICATIONS DU CYCLE DE L'EAU | 111 |
| 1. Les précipitations | 111 |
| 2. La fonte des glaces..... | 112 |
| C. LE MILIEU MONTAGNARD | 113 |
| 1. Les changements climatiques en montagne | 113 |
| 2. La couverture neigeuse | 114 |
| D. LA FRÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS CLIMATIQUES EXTRÊMES | 116 |
| E. LA SITUATION DES DOM-TOM | 117 |
| IV. BIODIVERSITÉ ET GAZ À EFFET DE SERRE..... | 118 |
| A. LA MENACE SUR LES RESSOURCES BIOLOGIQUES..... | 118 |
| B. LES COMPOSANTES DE LA BIODIVERSITÉ..... | 119 |
| C. LA PRÉSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ | 121 |
| 1. L'écosystème marin..... | 121 |
| 2. L'écosystème continental..... | 123 |
| 3. Les critères de préservation d'une espèce ou d'un écosystème | 124 |
| 4. Les moyens d'une action de préservation de la biodiversité..... | 125 |
| D. LES RYTHMES DE L'ADAPTATION DES ESPÈCES | 127 |
| V. GAZ À EFFET DE SERRE ET SANTÉ HUMAINE..... | 130 |
| A. LES RELATIONS ENTRE LE CLIMAT ET LA SANTÉ | 130 |
| B. L'IMPACT DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE SUR LA SANTÉ..... | 133 |
| C. LE CAS DES DÉPARTEMENTS ET TERRITOIRES D'OUTRE-MER | 138 |
| VI. LES ENJEUX GÉOPOLITIQUES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES | 138 |
| A. L'EAU | 139 |
| B. LA DÉSERTIFICATION..... | 141 |
| 1. Sécheresse et démographie | 142 |
| 2. Solutions techniques et coopération | 143 |

| | |
|--|------------|
| TROISIÈME PARTIE : LA RÉFLEXION SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES | 144 |
| | |
| CHAPITRE PREMIER : LES DONNEES DE L'ANALYSE | 144 |
| I. LA COMPLEXITÉ DU PHÉNOMÈNE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE | 144 |
| II. LES LIMITES D'UNE RÉACTION DE L'HOMME | 145 |
| A. L'HOMME PEUT RALENTIR MAIS NON ANNULER L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE DONT IL EST RESPONSABLE | 145 |
| 1. <i>La disparition des gaz à effet de serre déjà émis est très lente</i> | 146 |
| 2. <i>Le rythme d'une remise en cause est lent</i> | 147 |
| B. LA RÉDUCTION DE L'ÉMISSION DE GAZ À EFFET DE SERRE REMET EN CAUSE L'UNIQUE MODÈLE DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE | 147 |
| 1. <i>L'absence d'une volonté de remise en cause du modèle</i> | 147 |
| 2. <i>Quel nouveau modèle de développement ?</i> | 149 |
| 3. <i>S'adapter au changement climatique global</i> | 149 |
| III. LA MULTIPLICITÉ ET LA VARIÉTÉ DES ANALYSES | 152 |
| A. LE GROUPE INTERGOUVERNEMENTAL D'EXPERTS SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT (G.I.E.C.) | 152 |
| B. LES AVIS DU CONSEIL ÉCONOMIQUE ET SOCIAL SUR L'EFFET DE SERRE | 155 |
| 1. <i>Les bases de négociation du protocole de Kyoto</i> | 155 |
| 2. <i>Les instruments de flexibilité du protocole</i> | 158 |
| 3. <i>Le contexte énergétique général</i> | 159 |
| IV. L'ACCAPAREMENT DU PROBLÈME PAR DES PENSEURS SPÉCIALISÉS | 161 |
| A. LES CLIMATOLOGUES | 161 |
| B. LES AUTRES CHERCHEURS | 165 |
| 1. <i>Les sciences physiques</i> | 165 |
| 2. <i>L'adaptation aux changements climatiques</i> | 166 |
| 3. <i>La technologie</i> | 166 |
| 4. <i>La recherche européenne</i> | 166 |
| C. LES JURISTES ET LES CONFÉRENCES INTERNATIONALES | 167 |
| D. LE PROTOCOLE DE KYOTO | 170 |
| 1. <i>L'ambition du protocole de Kyoto</i> | 170 |
| 2. <i>La souplesse des engagements et des mécanismes de Kyoto</i> | 171 |
| E. LES ÉCONOMISTES | 174 |
| F. LA PRESSE | 175 |

| | |
|---|-----|
| CHAPITRE SECOND : LES LIMITES DE L'ANALYSE | 177 |
| I. LES NUAGES ET LES OCÉANS DEMEURENT DES INCONNUES | 177 |
| II. LA MACHINE TERRE N'A PAS DE MODE D'EMPLOI | 178 |
| III. LES CHERCHEURS NE SONT PAS À MÊME DE TOUT TROUVER TOUT DE SUITE | 178 |
| IV. LES JURISTES NÉGOCIENT DES DATES NON NÉGOCIABLES ET VIDENT DE LEUR PORTÉE LES PRINCIPES GRÂCE À DES CLAUSES ÉCHAPPATOIRES | 183 |
| A. DES BASES FLUCTUANTES | 184 |
| B. DES PARTENAIRES INÉGAUX | 185 |
| V. LES ÉCONOMISTES CRÉENT UN MARCHÉ DU DROIT À L'ERREUR GARANTISSANT À LA FOIS LE FREINAGE ET LA RELANCE DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE | 186 |
| A. LES PAYS DU « NORD » S'OCTROIENT DES DÉPASSEMENTS NÉGOCIÉS | 187 |
| B. LES PAYS DU « SUD » REVENDIQUENT UN DROIT À DÉPASSEMENT PERMANENT | 188 |
| VI. LA NOTION D'ALTERNANCE ET LE RYTHME DES MANDATS POLITIQUES CONDAMNENT-ILS LES PROJETS À LONG TERME À L'ABSENCE DE SOLUTIONS ? | 189 |
| | |
| QUATRIÈME PARTIE : LES SOLUTIONS | 191 |
| | |
| CHAPITRE PREMIER : LES SOLUTIONS GLOBALES | 191 |
| I. ECONOMISER L'ÉNERGIE | 191 |
| A. LA DEMANDE D'ÉNERGIE | 191 |
| B. LES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE ET L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE | 193 |
| II. LIMITER LE RECOURS AUX ÉNERGIES FOSSILES ET A L'EAU | 194 |
| A. LES ÉNERGIES RENOUVELABLES | 194 |
| B. L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE | 195 |
| C. L'IRRIGATION | 195 |
| III. SÉLECTIONNER LES TECHNIQUES AGRICOLES | 196 |
| A. AGRICULTURE | 196 |
| 1. <i>la réduction des émissions de protoxyde d'azote (N₂O)</i> | 196 |
| 2. <i>La régulation des émissions d'origine agricole</i> | 196 |

| | |
|---|------------|
| IV. REPENSER LES TRANSPORTS | 198 |
| A. L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE..... | 198 |
| B. LES SCHÉMAS DE DÉPLACEMENT..... | 199 |
| C. LA ROUTE..... | 200 |
| D. LE RAIL..... | 200 |
| E. LE FLUVIAL ET LE MARITIME..... | 201 |
| F. L'AÉRIEN | 201 |
| V. AMÉLIORER L'HABITAT | 202 |
| A. AMÉNAGER LE TERRITOIRE | 202 |
| B. IMPLANTER LES VILLES ET LES BÂTIMENTS | 203 |
| C. CONCEVOIR LES CONSTRUCTIONS | 204 |
| D. CHAUFFER LES HABITATS..... | 205 |
| E. CLIMATISER LES LOCAUX | 205 |
| | |
| CHAPITRE SECOND : LES ENJEUX DES SOLUTIONS | 207 |
| I. QUAND ? | 207 |
| A. 2025 OU L'AVENIR PROGRAMMÉ | 207 |
| B. 2050 OU LE CARREFOUR DES CHOIX..... | 209 |
| C. 2100 OU L'IRRÉMÉDIABLE | 209 |
| II. COMMENT ? | 210 |
| A. SOLUTIONS PARTIELLES ET RECOURS AU NUCLÉAIRE | 210 |
| B. DÉVELOPPEMENT DURABLE | 211 |
| III. POUR QUI ? | 213 |
| A. PAYS DÉVELOPPÉS ET NOUVEAUX PAYS DÉVELOPPÉS | 213 |
| B. LES EXCLUS DU FAIT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE..... | 215 |
| 1. <i>L'impact négatif des changements climatiques sur certains pays.</i> | 215 |
| 2. <i>La difficulté d'une prévision climatique régionale</i> | 216 |
| IV. À QUELLES CONDITIONS ?..... | 216 |
| A. SENSIBILISATION DE L'OPINION..... | 216 |
| B. ÉDUCATION | 217 |

| | |
|---|------------|
| CONCLUSION..... | 220 |
| RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES ET PRÉCONISATIONS RELATIVES À LA VIE QUOTIDIENNE..... | 221 |
| EXAMEN DU RAPPORT PAR L’OFFICE | 239 |
| LISTE DES ANNEXES | 241 |
| ANNEXE 1 – SAISINES | 242 |
| ANNEXE 2 - LISTE DES PERSONNES AUDITIONNEES | 243 |
| ANNEXE 3 - RAPPORTS CONNEXES FIGURANT DANS LE CD-ROM N° 1 SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES | 250 |
| ANNEXE 4 - LISTE DES COLLOQUES ET CONFÉRENCES LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES AUXQUELS LE RAPPORTEUR A ASSISTÉ..... | 252 |
| ANNEXE 5 - CHRONOLOGIE DE L’ÉVOLUTION DES CONNAISSANCES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES | 254 |
| ANNEXE 6 – ENGAGEMENT DE L’UNION EUROPEENNE ET DE SES ETATS - MEMBRES RELATIF A LA REDUCTION DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE | 256 |
| ANNEXE 7 - GLOSSAIRE ♦ | 257 |
| ANNEXE 8 - SYMBOLES CHIMIQUES | 260 |
| ANNEXE 9 - SIGLES | 261 |
| ANNEXE 10 - BIBLIOGRAPHIE..... | 263 |
| ANNEXE 11 - QUELQUES SITES INTERNET CONTENANT DES INFORMATIONS SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES | 275 |

AVERTISSEMENT :

POURQUOI UN DOUBLE CD-ROM ?

Le présent rapport, soixante-dixième rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) a été édité à la fois sur le support traditionnel papier et sur **support numérique (CD-Rom)**. Il s'agit là d'une première.

Votre Rapporteur tient tout spécialement à remercier ici M. Henri REVOL, Sénateur de la Côte-d'Or, Président de l'OPECST, au moment où cette idée novatrice a vu le jour. Il a su en saisir l'intérêt et, loin d'être effrayé par sa nouveauté, lui accorder l'attention et les crédits qu'elle méritait.

L'édition sur CD-Rom du rapport sur les changements climatiques permet de donner au lecteur accès, non seulement, bien sûr, au **présent rapport de l'OPECST**, mais également à plusieurs des rapports qui ont constitué les lectures privilégiées de votre Rapporteur, comme, par exemple, **cinq rapports de l'Académie des Sciences, cinq rapports de la Mission interministérielle de l'effet de serre (M.I.E.S.), le résumé pour les décideurs du rapport 2001 du G.I.E.C., des rapports du Sénat, du Conseil Economique et Social, la brochure de RAC-France «SOS Climat»**. En outre, il a été possible de rendre plus vivante cette étude en y associant quelques **séquences vidéo conçues par le C.N.E.S.**

Le présent rapport, qui comprend également **les auditions** réalisées par votre Rapporteur de novembre 1999 à octobre 2001, a été conçu comme **un forum de connaissances**, un lieu d'interconnexion entre diverses données ; il constitue un espace de dialogue bien plus que le soutien académique d'une thèse ou la présentation d'une démonstration.

Ce rapport, assorti de plus d'**une centaine de recommandations** d'ordre général et d'**une trentaine de préconisations concrètes relatives à la vie quotidienne**, ambitionne de **permettre au lecteur de prendre position sur les changements climatiques**, non pas exclusivement d'un point de vue théorique ou général, mais aussi à travers des gestes très concrets de la vie quotidienne contribuant à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Le choix de ce procédé de diffusion originale d'un rapport de l'Office n'a pas été dicté par un souci de mode, mais par une constatation : plus que la seule compréhension de la complexité du phénomène de l'intensification de l'effet de serre, c'est **la sensibilisation d'un public élargi** qui doit constituer l'impact prioritaire de la présente étude.

REMERCIEMENTS

Votre Rapporteur tient particulièrement à remercier :

- ♦ **M. Jacques OUDIN**, Sénateur de la Vendée, à l'origine de la saisine initiale de l'OPECST par la commission des Finances sur le thème du cycle de l'eau,
- ♦ **MM. Henri REVOL et Jean-Yves LE DÉAUT**, Présidents successifs de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques au cours de la rédaction de ce rapport,
- ♦ les membres du groupe de travail constitué auprès du Rapporteur :
 - **M. le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT**, Directeur de Recherche au C.N.R.S., Laboratoire Climat et santé,
 - **M. Daniel CARIOLLE**, Directeur de la Recherche de Météo France,
 - **M. Denis COUVET**, Centre de Recherches sur la Biologie des Populations d'Oiseaux (C.R.B.P.O), Museum national d'histoire naturelle,
 - **M. Ghislain GOSSE**, Directeur de Recherche à l'Institut National de Recherche Agronomique,
 - **M. Robert KANDEL**, Directeur de Recherche au C.N.R.S. (Laboratoire de Météorologie Dynamique),
 - **M. René LERAY**, Direction Générale des relations extérieures de la Commission européenne,
 - **M. Jean-François MINSTER**, Président de l'IFREMER,
 - **M. Olivier NOLIN**, auteur multimédia,
 - **M. Michel PETIT**, membre du G.I.E.C.

♦ les personnalités, institutions ou organismes qui ont autorisé l'insertion de certains documents écrits ou audiovisuels dans le CD-Rom, et notamment :

- **M. Yves COCHET**, parlementaire en mission, puis ministre de l'Environnement, pour son rapport sur l'efficacité énergétique,

- **M. Gérard BRACHET**, Directeur général du C.N.E.S.,

- **le Conseil économique et social**,

- **M. Hubert CURIEN**, Président de l'Académie des Sciences et **M. Jean-Mars BOCABEILLE**, Directeur Editorial des Editions TEC & DOC,

- **M. Serge LEPELTIER**, Sénateur du Cher, qui a accepté d'ouvrir ses auditions lors de l'élaboration de son rapport « *Maîtriser les émissions de gaz à effet de serre : quels instruments économiques ?* »,

- **M. Michel MOUSEL**, Président de la Mission interministérielle de l'effet de serre (M.I.E.S.),

- **M. Grégoire POSTEL-VINAY**, Ministère de l'Industrie,

- **RAC-France**,

- **M. Pierre RADANNE**, Président de l'ADEME,

- **le Professeur Pierre ROGNON** (spécialiste des climats arides),

♦ **l'ensemble des personnes entendues**, en particulier celles qui ont bien voulu apporter un concours au-delà de leur audition :

- l'Ambassadeur de France en Israël,

Son Excellence **M. Jacques HUNTZINGER**,

- **Mme Monique RIVIER**, Attachée scientifique,

- **M. Nicolas SANTO**, Attaché scientifique adjoint,

- l'Ambassadeur de France aux Pays-Bas,

Son Excellence **Mme Anne GAZEAU-SECRET**,

- **M. Dominique PLADYS**, Attaché scientifique,

- **M. Simon BERKOWICZ** (spécialiste des écosystèmes arides)
- **M. André BIRÓ** (architecte, urbaniste, Grand Prix international d'Architecture et d'Urbanisme),
- **M. Jean-Paul JANCOVICI** (consultant),
- **Mme Nicole PETITMAIRE** (paléoclimatologue),

♦ et, pour la réalisation du CD-Rom, plus particulièrement :

- **M. Olivier NOLIN**, membre du groupe de travail,
- **M. Olivier BLEYS**, concepteur multimédia,
- l'équipe de **la Société I3M**, notamment **M. François CHARRAUDEAU**, chef de projet.

INTRODUCTION

L'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) a d'abord été saisi par la Commission des Finances du Sénat d'une étude sur **le cycle de l'eau**.

Au cours des travaux conduisant à la réalisation de l'étude de faisabilité, votre Rapporteur s'est aperçu que l'étude du cycle de l'eau risquait de manquer de pertinence s'il était fait abstraction des autres grands cycles naturels, à savoir ceux de l'azote et du carbone. Cela conduisait à s'intéresser très directement à l'aspect que ne cesse de peindre une actualité toujours plus importante au fil des mois, à savoir l'intensification de l'effet de serre, soit, plus globalement, **aux changements climatiques** qui pourraient en résulter.

Après avoir pris contact avec le Sénateur à l'origine de la saisine de l'OPECST par la Commission des Finances, M. Jacques OUDIN, il est apparu que le souci premier de celui-ci portait sur les conséquences que pourrait avoir la montée du niveau des océans sur les zones littorales et, *a fortiori*, sur les îles. Cela correspondait donc parfaitement à l'une des conséquences redoutées des changements climatiques qui pourrait consister, selon de nombreuses études et d'après les observations portant sur les dernières décennies, en une élévation non négligeable du niveau des océans.

Dans le même temps, votre Rapporteur a porté la plus grande attention aux propositions de sujets d'étude émanant du Conseil scientifique de l'Office, qui avait d'ailleurs procédé à un classement des priorités relatives de ces études à l'occasion d'une réunion de l'Office. La préoccupation relative à l'étude des changements climatiques revenait à plusieurs reprises et avait été classée parmi les sujets essentiels à traiter.

C'est pourquoi, à la suite de l'étude de faisabilité, **une demande du Bureau du Sénat, bientôt rejointe par le Bureau de l'Assemblée nationale, a défini le sujet du présent rapport :**

« L'ampleur des changements climatiques, de leurs causes et de leur impact sur la géographie de la France aux horizons 2025, 2050 et 2100 ».

L'intitulé même de ce sujet appelle quelques brèves remarques : tout d'abord, il est question **des changements climatiques**, et non de l'effet de serre, pas même de l'intensification de celui-ci. En effet, malgré le caractère reçu d'idées couramment répandues dans l'opinion, l'Office devait se garder

d'annoncer dans l'énoncé même de son thème d'étude les conclusions éventuelles de celle-ci. Pour lui, la question suivante : « l'intensification de l'effet de serre, résultant de l'augmentation de certains gaz dans l'atmosphère, entraîne-t-elle ou non des changements climatiques ? », suppose, bien évidemment, d'avoir répondu à une question préalable sur l'apparition ou non de changements climatiques au cours des dernières années et sur l'existence éventuelle de ce phénomène ou la prolongation de cette tendance actuellement et dans les années à venir.

L'appréciation des **impacts** de ces supposés changements est essentielle, puisque ce n'est qu'à partir d'un certain seuil d'importance des modifications observées qu'il sera opportun ou impérieux de s'intéresser aux changements climatiques.

La limitation apparente du sujet à **la France** ne résulte pas d'une méconnaissance du fait que l'intensification de l'effet de serre, comme l'effet de serre lui-même, sont des phénomènes planétaires ; de plus, la France, comprenant les territoires et les départements d'outre-mer, se trouve située sous des latitudes et des climats tellement différents que l'aspect planétaire des changements climatiques est inmanquablement pris en compte de ce fait là également. La limitation des investigations de cet énoncé consiste seulement à s'intéresser prioritairement aux causes et impacts liés directement aux politiques agricole, énergétique, industrielle ou de transport françaises, et à étudier leurs effets sur le territoire, sur la biodiversité, sur les activités, voire sur les personnes agissant et vivant en France.

Les trois horizons retenus, 2025, 2050 et 2100, peuvent susciter certaines interrogations. Ils témoignent surtout du fait que ces changements climatiques, s'ils interviennent, auront des effets variables dans le temps et ne sauraient recevoir de remèdes immédiats du fait, par exemple, de la présence dans l'atmosphère de certains gaz à effet de serre durant plusieurs dizaines, centaines ou milliers d'années.

De plus, ces trois horizons conduisent à s'interroger de manière différente sur la nécessité, l'impact et les difficultés de mise en œuvre des diverses politiques, éventuellement imaginées pour prévenir et/ou réparer les conséquences des changements climatiques.

Presque toujours, à l'énoncé du thème de son rapport, votre Rapporteur a observé de la part des nombreuses personnalités entendues des réactions d'étonnement : comment peut-on réfléchir à l'horizon 2100 ? En réalité, après un bref échange, la plupart des interlocuteurs reconnaissent qu'eux-mêmes prennent souvent des décisions dont ils espèrent bien que les impacts atteignent une telle échéance.

Par exemple, un élu local décidant de l'implantation d'un équipement public - une école, un hôpital, un stade... - ou d'une infrastructure - une route,

un pont... - espère bien, implicitement mais sans en douter que ces constructions seront encore en place dans sa collectivité territoriale en 2100, même si cette aspiration n'est pas explicitement mentionnée.

A l'inverse, trop souvent, si l'on considère les mesures réglementaires actuellement prises en France concernant notamment les zones constructibles, force est de constater qu'il n'est pas rare de trouver de nouveaux projets dans des zones considérées comme inconstructibles ou difficilement constructibles, par exemple des zones inondables, alors même que ces constructions et leurs occupants risquent de se trouver menacés par un événement climatique extrême.

Dès lors, beaucoup de catastrophes naturelles frappent un pourcentage non négligeable d'édifices qui n'auraient pas dû être construits ou qui auraient dû l'être différemment.

De là émerge une interrogation qui va sous-tendre tout le corps du présent rapport : **si le changement climatique est avéré et si ses conséquences semblent atteindre un certain seuil, la lutte contre l'intensification de l'effet de serre pourrait devenir une priorité à laquelle il faudrait subordonner d'importantes décisions politiques comme des agissements privés très diversifiés.**

C'est ce qui a conduit votre Rapporteur à ne pas se limiter à une approche climatologique du sujet mais, puisqu'il lui était demandé d'étudier les impacts de changements climatiques sur **la géographie** de la France, la cohérence de la démarche imposait de s'intéresser tout autant à la géographie physique qu'à la géographie humaine, économique, voire politique. Dès lors, **des thèmes aussi divers que l'évolution démographique, la politique énergétique, les transports, l'urbanisme, l'habitat, la santé ne pouvaient être écartés de l'étude**, car s'il est évident que les émissions d'un gaz à effet de serre à durée de vie non éphémère concernent l'ensemble de la composition de l'atmosphère, indépendamment de la localisation même du lieu d'émission, il est tout aussi certain que les données résultant de l'évolution de la démographie au cours du siècle qui vient de commencer, comme le recours systématique aux énergies fossiles, comme enfin des modes de vie uniformisés impliquant des moyens de transports accrus, imposent de prendre en compte l'ensemble de ces paramètres pour pouvoir émettre un avis sur les changements climatiques.

De même que les modèles numériques destinés à modéliser le climat s'attachent à incorporer un nombre toujours plus grand de paramètres, de même, la sophistication extrême de ces modèles serait dépourvue de sens si, lorsqu'ils intègrent l'évolution des émissions de gaz à effet de serre, des données aussi fondamentales et chargées de conséquences que la démographie, les transports ou les politiques industrielles menées à partir de telle ou telle source d'énergie venaient à être négligées.

L'avantage des rapports de l'OPECST, par comparaison avec les rapports parlementaires liés à un projet ou à une proposition de loi ou même à ceux résultant des travaux d'une commission d'enquête ou d'une mission d'information, est de disposer d'une durée permettant d'étudier à fond, dans la sérénité, un thème aux retombées scientifiques ou technologiques complexes afin de pouvoir sensibiliser les parlementaires sur des questions techniques ardues, et souvent à long terme, avant que ne vienne en discussion un texte de loi qui risquerait de ne pas atteindre sa pleine efficacité si tous les paramètres n'étaient pris en compte.

La présente étude illustre particulièrement ce phénomène, puisque tant son ampleur que ses horizons constituent comme un défi. En débutant celle-ci, il n'était pas évident qu'elle puisse déboucher sur des certitudes ou des préconisations concrètes, mais, pour autant, la nécessité de mener cette investigation n'a fait naître aucun doute.

Depuis plusieurs mois, votre Rapporteur note avec intérêt qu'entre le moment où il a été chargé de cette étude et la période actuelle, **le thème de l'effet de serre et de son intensification a été largement repris par la presse écrite ou audiovisuelle hebdomadaire et quotidienne, par les revues et par de nombreux colloques, des conférences, des expositions ou des émissions de télévision.** De ce fait, aurait-il été envisageable de renoncer à la présente étude en alléguant que la compréhension de ce phénomène est maintenant approfondie, que ses effets sont connus et que les remèdes sont identifiés et désirés ? Cela eût semblé hâtif à bien des égards.

En effet, ce n'est pas parce que, bientôt, tout un chacun aura son avis sur « l'effet de serre » que l'Office parlementaire ne doit pas essayer d'en cerner toutes les composantes et de tirer des conclusions sur les implications de ce phénomène.

Bien au contraire, il importe de s'efforcer de l'étudier à partir des **innombrables travaux scientifiques** menés au cours des dernières années, de voir dans quelle mesure ceux-ci donnent des explications considérées unanimement comme exactes des phénomènes, de se demander si des solutions existent et de voir si ce thème de recherche peut ou non être isolé, déconnecté d'autres réalités.

Pour s'en tenir à la communauté scientifique, **l'étude du climat suppose l'étude du climat passé, objet de la paléoclimatologie, l'élaboration de modèles climatiques globaux et l'appréciation des limites des simulations climatiques.**

Ce premier stade franchi, se pose tout de suite **la question des sources d'énergie utilisées par l'homme**, les énergies fossiles dégageant des gaz à effet de serre puis celle de la destination des différentes utilisations de

l'énergie, si l'on admet que l'homme peut avoir, de ce fait, une action sur le climat.

Trois questions émergent : peut-on prévenir les risques liés aux changements climatiques ? Est-il possible de s'y adapter ? Comment en réparer les effets ?

Dès lors, rapidement, le débat se déplace de la scène nationale à la scène internationale, aux politiques publiques ou aux stratégies privées et même aux comportements individuels, tous ces éléments ayant des répercussions mondiales par le canal des gaz à effet de serre.

Il a beaucoup été question, au cours de ces dernières années, de **négociations internationales** ayant débouché sur des conventions permettant de mener, tous pays confondus, une lutte contre l'intensification de l'effet de serre, contre les impacts négatifs de celle-ci.

Au-delà des réserves résultant de la portée plus ou moins limitée des accords négociés, de la difficulté de mettre ceux-ci en œuvre, il n'a jamais fallu attendre très longtemps entre deux accords pour que des remises en cause des positions longuement et difficilement négociées interviennent.

Même si la question des changements climatiques apparaît d'abord comme un débat d'une grande complexité scientifique, est-il possible d'attendre de **la communauté scientifique** des réponses à toutes les questions posées, alors que l'essentiel des choix est de nature économique et politique ? En effet, le scientifique peut décrire le phénomène de l'effet de serre, en expliquer les ressorts, en quantifier l'intensification, mais il ne peut décider de la nature de l'énergie à utiliser par les sociétés humaines. De même, il reste impuissant face aux réalités de l'évolution démographique.

Il s'agit donc, à ce stade, et même si les réponses apportées par le monde scientifique suscitent parfois autant d'interrogations qu'elles génèrent de certitudes, de permettre aux **décideurs**, hommes politiques ou chefs d'entreprise, de choisir d'influer ou non sur le phénomène d'intensification de l'effet de serre.

Il est à noter que, tout au long de cette étude, il sera essentiellement question de **l'intensification de l'effet de serre**, passée la phase de description de l'effet de serre lui-même.

Dès à présent, votre Rapporteur se doit d'insister particulièrement sur cet aspect, dans la mesure où, très fréquemment, y compris dans des cercles bien informés, **l'effet de serre est totalement confondu avec l'intensification de celui-ci**, également évoquée sous le nom d'**effet de serre additionnel**.

Pourquoi cette distinction est-elle primordiale ? Simplement parce que, sans l'existence de l'effet de serre, le climat de la Terre serait plus froid en moyenne d'environ une trentaine de degrés : **le réchauffement associé à l'effet de serre est un bien nécessaire à la vie et non un mal en soi**. En outre, la vie peut s'accommoder fort bien (comme elle l'a fait, non sans quelques difficultés pour les espèces adaptées au froid, à la fin de la dernière période glaciaire) de l'intensification de l'effet de serre sur des échelles de temps de quelques millénaires. En revanche, **l'intensification rapide de l'effet de serre entraînant un réchauffement important en quelques décennies, pourrait soulever de très grandes difficultés pour certains écosystèmes et rendre la vie sur la Terre plus difficile**.

Pour mieux appréhender ce phénomène et pour donner un prolongement aux études scientifiques entreprises, au premier rang desquelles les différents rapports de l'Académie des Sciences doivent être cités, le gouvernement français a décidé de participer au **GIEC (Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat -IPCC** en anglais), créé en 1988 sous l'égide de l'O.N.U. et de l'Organisation Météorologique Mondiale (O.M.M.), ou encore de créer, en 1992, la **MIES (Mission Interministérielle sur l'Effet de Serre)**, pour coordonner l'action et la réflexion gouvernementale sur ce thème. Parallèlement, divers groupes d'experts travaillent à cette question dans différents ministères ou organismes publics et, à l'échelon international, des experts français ont été désignés pour suivre les travaux du GIEC.

Votre Rapporteur se doit d'insister également sur un aspect spécifique du présent rapport, dont **beaucoup de préoccupations doivent s'inscrire dans la durée : durée dans le passé** en bénéficiant des efforts de ceux qui ont eu la force et la patience de pousser aussi loin que possible les recherches paléoclimatologiques : récolte et étude des fossiles, analyse des carottes glaciaires ou des pollens ; **durée au niveau international**, où les travaux lancés en 1988 à travers le GIEC ont abouti en octobre 2001 à un troisième rapport ; **durée dans le futur avec des projections fondées sur les travaux de modélisation du climat** - à ne pas confondre avec les tentatives de prévisions saisonnières, et encore moins avec les prévisions météorologiques à courte ou moyenne échéance. Les recherches menées dans tous les grands pays du monde nécessitent encore de nombreuses mises au point, notamment si l'on considère la difficulté de faire entrer dans ces modèles les caractères de variabilité liés à la complexité des nuages, comme des océans ; c'est pourquoi les chercheurs à l'œuvre dans les divers organismes et centres de recherche constatent qu'il leur faudra encore plusieurs années avant de pouvoir présenter des conclusions à la hauteur des interrogations émises.

Pourtant, alors même qu'aucune certitude définitive ne semble près d'être établie, des décisions à prendre influenceront sur le climat. Faut-il dès lors s'en remettre, comme certains le préconisent, aux conclusions des modèles de simulation des climats, plutôt inquiétantes, ou se contenter de regarder en

estimant que la nature, à travers notamment les océans ou d'autres puits de carbone ♦ suffira à absorber indéfiniment les excédents de gaz carbonique émis par l'homme, ou bien enfin faut-il tenter de tracer quelques pistes, même en l'absence de solution miracle ?

Compte tenu de l'ampleur et de la diversité du sujet, votre Rapporteur a souhaité, pour mener à bien son étude, procéder à de **nombreuses auditions** de personnes d'horizons variés et, également, avoir quelques **entretiens avec des chercheurs et visiter des réalisations à l'étranger**.

C'est ainsi qu'il a été conduit à mener, à Paris, près de **soixante-dix auditions** et à effectuer **deux déplacements à l'étranger** permettant chacun environ une vingtaine d'auditions, sans compter des observations *in situ*.

Un déplacement fut effectué en **Israël** en mai 2000, au moment même où se tenait à Haïfa un colloque sur le changement climatique (1); ce déplacement a également permis d'observer des cultures expérimentales faiblement irriguées dans le désert du Néguev. Par ailleurs, un déplacement aux **Pays-Bas** en novembre 2000, notamment sur la grande digue se trouvant dans l'estuaire de l'Escaut, édiflée à la suite des dramatiques inondations de 1953, a permis de réfléchir à la nécessité de lutter, soit de manière frontale soit, au contraire, d'une manière souple, face à la montée des eaux, en fonction du rythme de celle-ci et des caractéristiques géographiques locales.

Enfin, un déplacement à Toulouse, en octobre 2001, a permis la visite du **Centre de recherche de Météo France**.

Votre Rapporteur a également assisté à de **nombreux colloques**, dont la fréquence s'est intensifiée au cours des mois, ou s'est procuré les actes de ceux-ci.

Même si certains recoupements sont vite opérés du fait de la similitude d'intervenants d'un colloque à l'autre, il est également étonnant d'observer que le thème des causes de l'ampleur et de l'impact des changements climatiques peut être décliné de multiples manières sans qu'interviennent de trop nombreuses répétitions.

Toutefois, une réserve peut être émise sur cette manière de procéder, étant indiqué que beaucoup de colloques ont recours aux mêmes intervenants, ce qui finit par produire **un effet de confirmation des opinions émises** généré davantage par la présence répétée d'intervenants identiques dans les divers colloques que par la similitude des conclusions auxquelles aboutiraient, par des voies différentes, des chercheurs d'horizons très divers.

(1) « *La Méditerranée : culture, environnement et société* ». Université de Haïfa, 22-24 mai 2000.

Cette considération conduira votre Rapporteur à émettre une préconisation pour remédier partiellement à cet état de fait en **suggérant la création d'un nouveau genre de lieu de dialogue**, au lieu de répéter à l'infini une recette éprouvée, mais aussi éprouvante, consistant à multiplier en des lieux différents des colloques trop denses ne donnant lieu qu'à des interventions schématiques suivies d'échanges d'un caractère extrêmement limité.

*

Comme il est de règle pour l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, le Rapporteur a toute latitude pour proposer la constitution d'**un groupe de travail** d'environ une dizaine de personnes pour lui permettre d'accélérer sa vitesse d'assimilation de données dans des domaines techniques nouveaux pour lui et d'une complexité non négligeable et dialoguer avec ce groupe de spécialistes de haut niveau.

En l'occurrence, vu l'ampleur du champ d'investigation décrit ci-dessus, votre Rapporteur a souhaité obtenir la collaboration de **M. le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT** du Laboratoire Climat et Santé de la Faculté de Médecine de Dijon, **M. Daniel CARIOLLE**, Directeur de la Recherche de Météo France, **M. Denis COUVET** du Muséum national d'histoire naturelle, **M. Ghislain GOSSE** de l'INRA, **M. Robert KANDEL**, Directeur de recherche au CNRS (Laboratoire de météorologie dynamique à l'Ecole Polytechnique), **M. René LERAY**, de la Direction des relations extérieures de la Commission européenne, **M. Jean-François MINSTER**, devenu Président de l'IFREMER, **M. Olivier NOLIN**, auteur audiovisuel et **M. Michel PETIT**, Directeur général adjoint de la Recherche de l'Ecole Polytechnique au moment des débuts des travaux du groupe et membre français du G.I.E.C.

Par la diversité et la qualité de ces intervenants, qu'il tient à remercier chaleureusement ici, votre Rapporteur souhaitait garder à l'esprit, tout au long de ses travaux, la complexité du sujet, et confronter à échéance régulière, soit environ tous les deux mois, les points de vue de ces différentes personnes sur certaines questions, leur soumettre l'évolution de ses investigations et réfléchir avec elles à la portée et à la nature des préconisations qui pourraient résulter du rapport de l'Office.

*




Par ailleurs, il est assez vite apparu à votre Rapporteur qu'un des problèmes majeurs liés aux recherches sur l'intensification de l'effet de serre consistait en la difficulté de **faire partager à l'opinion publique les données de base sur un problème aussi complexe**.

D'où l'idée de toucher un plus large public qu'à l'accoutumée avec le présent rapport de l'Office sur les changements climatiques, **grâce à l'élaboration et à la diffusion d'un Cd-Rom** incluant non seulement **la présente étude**, mais également et peut-être, surtout, **les principaux rapports faisant autorité en la matière** et ayant servi de matériaux à l'élaboration de celui-ci. De même, ont été incluses, dans ce Cd-Rom, **des séquences vidéo** afin de rendre l'approche de ce document plus attrayante, compte tenu notamment du fait que deux publics prioritaires ont été visés par ce nouveau support, à savoir **les décideurs politiques**, y compris nationaux, régionaux, départementaux et locaux, et **les jeunes lycéens**.

En outre, pour améliorer la diffusion des rapports de l'Office parlementaire seront également consultables dans un second Cd-Rom, **les soixante-cinq rapports ayant été élaborés par l'OPECST depuis sa création, soit de 1984 à 2001**. Certains de ces rapports ont d'ailleurs concerné de près ou d'un peu plus loin les changements climatiques ou la manière de se prémunir contre ceux-ci. Il y sera donc fait référence sans qu'il soit besoin de les citer longuement, le lecteur pouvant avoir accès, en quelques secondes, au texte original.

*

Lors de la consultation du présent rapport grâce au Cd-rom, quatre icônes peuvent être activées :

- pour accéder aux **séquences vidéo** ;
-  pour lire le texte intégral d'**une audition** ;
-  pour prendre connaissance d'**un rapport** ou d'**un article de référence** lié aux changements climatiques ;
-  pour obtenir la définition d'un mot ou le sens d'une expression en accédant au **glossaire**.

PREMIERE PARTIE : CLIMATOLOGIE

Présentation de la première partie par le sénateur Marcel DENEUX □

CHAPITRE PREMIER : LE CLIMAT

Le mot climat -employé par chacun d'entre nous- n'évoque pas spontanément sa signification grecque : **l'inclinaison**.

Il s'agit de l'inclinaison des rayons du Soleil par rapport à la surface de la Terre.

Selon la latitude, cette inclinaison varie régulièrement avec les heures de la journée et les jours de l'année, déterminant ainsi le cycle des saisons. Cependant, ces cycles diurnes et annuels connaissent de faibles modifications, d'origine astronomiques, au cours des millénaires.

La chaleur et la présence de l'eau sont directement influencées par l'ensoleillement et **les conditions mêmes de la vie sur Terre** en résultent.

Sur le vaisseau spatial Terre, l'homme n'est pas à même de régler la climatisation, mais en la dérégulant il risque d'y perturber la vie.

I. LE CLIMAT EST PLANÉTAIRE

La composition (1) de l'atmosphère de la Terre est unique dans tout le système solaire (78 % d'azote, 21 % d'oxygène, 0,9 % d'argon, 0,03 % de gaz carbonique, quant au méthane, à l'ozone, à la vapeur d'eau, à l'oxyde d'azote, aux divers aérosols, ils sont présents seulement sous forme de traces). Elle permet la vie des hommes, des animaux et des végétaux. **La Terre est la seule planète à posséder à sa surface l'eau à l'état liquide.**

Sa distance par rapport au Soleil –147 millions de kilomètres– lui permet d'éviter la surchauffe à laquelle **Vénus** est soumise avec ses 460° C de

(1) *Composition de l'atmosphère au niveau de la mer*

température minimale, de jour comme de nuit, et son atmosphère composée à 96 % de dioxyde de carbone (0,03 % dans l'atmosphère terrestre).

La planète Mars, de soixante millions de kilomètres plus éloignée du Soleil que la Terre, connaît des températures d'été passant de -100°C à 0°C au cours de la journée. L'existence de l'eau sous forme liquide à l'époque actuelle n'y est pas démontrée.

Le rayonnement du Soleil constitue –à 99,97 %- l'unique source de chaleur de la Terre, répartie selon l'inclinaison des rayons solaires. Cependant, seul le rayonnement non réfléchi vers l'espace, principalement par l'atmosphère et les nuages, est converti en chaleur. De même, et plus encore, l'atmosphère et les nuages interviennent pour contrôler le rayonnement infra-rouge par lequel la planète évacue cette chaleur d'origine solaire vers l'espace.

L'atmosphère qui entoure la Terre, mince couche d'une vingtaine de kilomètres d'épaisseur environ, constitue **un régulateur essentiel du climat**.

Toujours brassée par les vents, la composition de l'atmosphère en un lieu donné a bientôt des répercussions mondiales à travers l'homogénéisation qui intervient.

Cela a une conséquence immédiate sur le sujet de la présente étude : **toute émission locale de gaz à effet de serre augmente la teneur mondiale de l'atmosphère en tel ou tel gaz émis**.

Comment le mélange de l'atmosphère s'opère-t-il ? Essentiellement grâce à deux grands mouvements : la circulation atmosphérique et la circulation océanique.

A. LA CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE

Elle réalise pour moitié environ l'équilibre thermique de la planète en répartissant les masses d'air de l'atmosphère.

Partant de l'équateur, les masses d'air chaud -plus légères- s'élèvent et se séparent en deux pour se diriger vers chaque pôle.

Au dessus des régions subtropicales, l'air, devenu plus froid, redescend vers le sol et se dirige vers l'équateur. Il existe ainsi deux grandes boucles recouvrant chacune environ la moitié d'un hémisphère.

Sous l'action de la force de Coriolis \diamond , les mouvements de l'air vers l'équateur sont déviés à droite dans l'hémisphère nord et à gauche dans l'hémisphère sud, formant les alizés \diamond , qui se chargent d'humidité au-dessus des eaux tropicales, et produisant de gigantesques cumulo-nimbus déversant des

pluies diluviennes de part et d'autre de l'équateur sur les forêts tropicales d'Amazonie, d'Afrique et d'Indonésie.

Au delà de ces deux zones de grandes pluies, se trouvent les grands déserts du Mexique, du Sahara (hémisphère nord) et ceux du Chili, de Namibie et d'Australie (hémisphère sud).

B. LA CIRCULATION OCÉANIQUE

Comme l'air, l'eau contribue au transport de l'excédent de température des latitudes tropicales jusqu'aux latitudes polaires.

Ces mouvements de courants chauds et froids de surface durent quelques dizaines, voire près d'une centaine d'années, tandis que, le mouvement des courants froids de profondeur –dit aussi circulation thermohaline ♦, allant de l'atlantique Nord au centre du Pacifique, prend plusieurs centaines voire quelques milliers d'années.

La circulation atmosphérique et la circulation océanique contribuent, à hauteur d'environ la moitié chacune, au brassage de l'atmosphère. Mais, compte tenu de la différence de rythme des deux circulations, **l'océan**, qui stocke environ mille fois plus d'énergie que l'atmosphère, **tempère les variations saisonnières du climat.**

Du caractère planétaire du climat découle une conséquence : **le seul moyen de bien comprendre un mécanisme climatique est d'observer toute la Terre (1).**

II. LA VARIABILITÉ DU CLIMAT

Au cours des différentes auditions, et surtout, au cours de ses diverses lectures, votre Rapporteur a noté que **la situation climatique actuelle était généralement considérée comme la situation climatique normale. Or, depuis les 4,6 milliards d'années que la planète Terre existe, le climat n'a cessé de varier à sa surface et ce, souvent, dans des proportions très larges.** Toute l'histoire du climat décrit l'amplitude de ces variations et leurs caractéristiques, et une immense partie de cette histoire nous est encore totalement inconnue.

L'essentiel des connaissances précises sur les climats du passé résulte de fouilles archéologiques et d'analyses de carottes glaciaires. Ces deux efforts conjugués ont permis de remonter jusqu'à 420.000 années avant notre

(1) Ce qui est le cas du programme mondial « climate variability » (CLIVAR).

époque, ce qui signifie que **n'est actuellement connu assez précisément qu'un dix millième de l'histoire climatique de la Terre**, et cela doit inciter à une très grande modestie dans l'analyse et les affirmations qui pourraient être tirées de ces analyses comme dans les tentatives de modélisation d'une évolution logique du climat.

Les recoupements opérés entre les analyses archéologiques et celles des carottes glaciaires effectuées essentiellement, pour les premières, par Mme Nicole PETITMAIRE et par M. Claude LORIOUS (1) pour les glaces, permettent de montrer que **de grands changements peuvent être constatés à la suite de variations climatiques moyennes n'excédant sans doute pas 5° d'amplitude thermique.**

Pour cette raison, le rapprochement de ces données avec les études actuellement menées par les divers scientifiques rassemblés au sein du GIEC, qui annoncent que la variation moyenne de température envisagée pour le XXI^{ème} siècle sera de + 1 ° à + 3 ° ou de + 2 ° à + 4 ° (2^{ème} rapport du GIEC) ou encore de + 1,4° à + 5,8° C (3^{ème} rapport du GIEC), malgré sa faiblesse apparente, ne constitue pas une variation anodine.

D'autant qu'en matière de climat, les moments de déclenchement des effets de seuil sont assez largement inconnus en l'état actuel de la science. Pour s'en tenir à un seul exemple lié à **la circulation océanique**, une augmentation de température de 4 ° dans la région du Labrador ne constituerait pas une catastrophe écologique en soi, peut-être même bien au contraire, mais si cette augmentation de température avait pour effet d'interrompre la plongée des eaux de l'océan à cet endroit, donc l'enfouissement du gaz carbonique qui en résulte et, surtout, de provoquer l'interruption de la dérive de l'Atlantique nord qui, avec le *Gulf Stream*, donne à l'Europe un climat tempéré, alors il faudrait réellement s'alarmer d'une telle hausse de température.

Même si l'homme refuse de prendre spontanément en considération les désagréments qui pourraient résulter d'un changement climatique, il est évident que dans le passé l'homme a dû, plusieurs fois, malgré lui, affronter des changements climatiques d'ampleur importante. Il en serait évidemment de même en cas de nouvelles variations du climat et les moyens techniques aujourd'hui disponibles ne seraient peut-être pas décisifs pour annuler ou atténuer les conséquences néfastes d'un tel changement. La différence par rapport aux périodes passées consisterait en la responsabilité de l'homme, au moins partielle, dans les changements climatiques actuellement observés. Au cours des périodes antérieures, l'homme n'avait d'autres choix que de s'adapter au climat, modifié par la fatalité. **Aujourd'hui et à l'avenir, les changements climatiques pourraient peut-être émaner de l'action même**

(1) « Glaces de l'Antarctique. Une mémoire, des passions ». Points. Editions Odile Jacob – 304 p.

de l'homme sans pour autant que l'homme soit à même de corriger les effets des changements qu'il aurait provoqués.

En effet, l'émission de vapeur d'eau, de gaz carbonique, de méthane et d'autres gaz à effet de serre peut être plus ou moins limitée par l'intervention de l'homme ; en revanche, comment l'homme pourrait-il organiser l'absorption de ces gaz pour annihiler leurs effets une fois que ceux-ci se trouvent libérés dans l'atmosphère ?

S'en remettre à la nature n'est pas davantage une solution à préconiser dans la mesure où les différents gaz à effet de serre ont des durées de vie fort variables et loin d'être négligeables.

Il ressort de ces considérations que **la variabilité du climat, du fait ou non de l'homme, restera une donnée à laquelle il conviendra de s'adapter**. Il ne reste qu'à étudier, selon les types de variations, selon leurs causes et selon les régions du monde, les marges de manœuvre laissées à l'homme pour s'adapter et il est à craindre que celles-ci soient d'autant plus réduites que le rôle de l'homme dans l'émission de gaz à effet de serre aura été important.

III. LA COMPLEXITÉ DU CLIMAT

Trois grands cycles influent principalement sur le climat. Le cycle de l'eau, celui du carbone et celui de l'azote.

A. LE CYCLE DE L'EAU

« La Terre est sans conteste le joyau du système solaire. Lorsqu'on l'admire depuis l'espace, petite bulle douce et bleue flottant dans l'infini, son nom semble bien mal choisi : la surface de notre planète est en effet recouverte aux trois-quarts par l'océan. »

Serge BRUNIER (1)

La planète bleue, la planète qui porte de l'eau liquide à sa surface, c'est la Terre. A ce titre, elle est unique dans le système solaire.

Chaque jour, l'essentiel de la vapeur d'eau s'évapore dans les régions tropicales puis cette masse d'air humide est transportée vers les latitudes plus hautes et subit une série de condensations du fait du refroidissement de l'air.

(1) « Voyage dans le système solaire », Bordas, 2000.

Ces condensations produisent des pluies puis de la neige en se rapprochant des pôles.

Par ailleurs, les sources et les volcans constituent les deux autres lieux essentiels du cycle de l'eau.

Pour reprendre l'image employée par Jacques LABEYRIE (1), **trois installations d'épuration d'eau fonctionnent en parallèle sur la Terre** : les sources, les volcans (traitement de l'eau à haute température) et les mers (évaporateur à basse température).

Les hommes, les animaux et les plantes ont besoin, un besoin vital, que le cycle de l'eau, en eux et autour d'eux, s'accomplisse indéfiniment.

Pour la survie d'**un homme** des contrées tempérées, 500 litres d'eau par an sont indispensables tandis qu'un homme vivant dans un climat désertique aurait besoin de 2.000, voire de 3.000 litres par an.

Par comparaison, les plants nécessaires pour produire **un kilo de grains de maïs** absorbent plus de 300 litres d'eau en six mois.

Mais, ce cycle de l'eau dépend étroitement de la température car les réactions chimiques vitales ne se produisent qu'au-dessus de 8° à 10° pour la plupart des espèces végétales et jusqu'à 45° environ, même si certaines espèces supportent jusqu'à -70° et +250°.

Pour **les espèces animales**, les migrations auxquelles elles se livrent illustrent la préoccupation de conserver des conditions climatiques aussi optimales que possible.

B. LE CYCLE DU CARBONE

En complément du cycle de l'eau, intervient le cycle du carbone.

Élément essentiel à la vie, le carbone constitue l'ossature des molécules organiques de tous **les organismes vivants**.

Il est aussi présent dans **les roches calcaires** et dans **l'air**.

Pour situer l'importance respective des différentes localisations du carbone, il peut être noté que vingt millions de milliards de tonnes de carbone se trouvent dans **les sédiments calcaires** (30.000 fois plus que dans l'atmosphère), que **l'océan** renferme aussi du carbone, sous forme d'ions bicarbonates dissous dans l'eau (60 fois plus que dans l'atmosphère), que **la biosphère** contient de la matière organique qui, avec ses résidus dans les sols

(1) « *L'homme et le climat* », Denoël, 1985, 1993, 348 pages.

et dans les océans représente cinq fois plus de carbone que la quantité présente dans l'atmosphère. Enfin, **le gaz carbonique** représente 0,03% de l'air.

Des échanges de carbone ont lieu entre ces divers réservoirs, accomplissant le cycle du carbone. Ce sont les suivants :

- **Biosphère continentale → photosynthèse ← atmosphère** (les plantes absorbent et rejettent du gaz carbonique) ;
- **Océan → ← atmosphère** (le gaz carbonique de l'atmosphère réagit avec l'eau froide et se transforme en bicarbonate, lequel, des dizaines, des centaines ou des milliers d'années plus tard se décompose sous l'effet de l'eau chaude et dégage du gaz carbonique dans l'atmosphère. C'est la présence de gaz carbonique dissous dans l'eau, augmentée du rayonnement solaire, qui permet la prolifération d'algues microscopiques à la surface des océans : le phytoplancton. Ce dernier est absorbé par le zooplancton qui nourrit les poissons.

La chaîne de la vie comprend toujours le carbone (cellules de phytoplancton puis tissu des autres organismes vivants puis déchet organique).

Mais ce carbone n'est pas seulement absorbé, il est aussi rejeté dans l'air (respiration des algues, des poissons, oxydation des déchets).

Seulement 10 % de l'ensemble de ce carbone (pelotes fécales, tissus morts, déchets) coulent dans les océans, mais près de 9 % se dissolvent avant d'atteindre le fond. **C'est donc seulement 1 % du carbone présent dans les océans qui se trouve piégé pour des millions d'années.**

Chaque élément du cycle du carbone dépend des autres éléments. Ainsi, **le phytoplancton** se nourrit de sels provenant des profondeurs océaniques et remontés à la surface par la circulation océanique.

Sans cette remontée, le phytoplancton ne pourrait perdurer.

Deux autres phénomènes participent au cycle du carbone : **les éruptions volcaniques**, qui injectent dans l'atmosphère du gaz carbonique résultant des dépôts sédimentaires du fond des océans (carbonates libérant du gaz carbonique sous l'effet de la chaleur) et **l'érosion des roches** (la pluie dissout les carbonates et aluminosilicates des roches et transporte les ions carbonates vers l'océan à travers les rivières et les fleuves).

De la sorte, **le volcanisme assure le renouvellement du gaz carbonique dans l'air, tandis que l'érosion joue le même rôle pour l'océan.**

Il est supposé que, il y a plus de quatre milliards d'années, une très forte activité volcanique avait produit une épaisse couche de gaz carbonique. Un très fort effet de serre avait alors empêché l'eau de l'océan de geler, ce qui aurait dû se produire compte tenu d'un rayonnement solaire inférieur d'environ 30 % à ce qu'il est actuellement.

La vie et la photosynthèse sont alors apparues dans l'océan et, au cours de centaines de millions d'années, le gaz carbonique de l'atmosphère a été remplacé par de l'oxygène qui, au terme d'un milliard d'années, a constitué 21 % de l'atmosphère permettant la formation de **la couche d'ozone**, il y a 400 millions d'années, protégeant la vie à la surface des continents contre le rayonnement ultraviolet solaire.

IV. LES CONTRASTES DU CLIMAT

Les contrastes climatiques ont pu être observés dans le temps et dans l'espace.

Ce n'est que vers la fin du XIX^{ème} siècle que fut émise l'hypothèse de périodes de glaciation successives, mais c'est entre 1930 et 1940 qu'un mathématicien, Milutin MILANKOVITCH, supposa que la variation de l'inclinaison de la Terre par rapport au plan de son orbite pouvait jouer un grand rôle dans la survenue des périodes glaciaires.

Cette hypothèse fut vérifiée ultérieurement grâce à l'étude des niveaux de la mer du passé, notamment à l'aide des variations des lieux d'implantation des mangroves (1) dont les restes se conservent très longtemps dans la vase et en procédant à la datation des coquilles.

Une très importante partie de ces travaux fut réalisée au Centre des faibles radioactivités de Gif-sur-Yvette (C.F.R.) en utilisant la méthode de datation du carbone 14.

Ces travaux ont permis de montrer que **vers – 18.000 ans**, le niveau de la mer était à environ 120 mètres au-dessous de son seuil actuel. Puis, le niveau est monté régulièrement, à la vitesse d'un mètre par siècle environ, jusqu'au niveau actuel atteint vers – 7.000 ans. Ce phénomène est expliqué par la fonte des glaces.

(1) *Etendues vaseuses de sable sur lesquelles pousse une végétation abondante prospérant sur des eaux saumâtres.*

Il est probable que **vers – 18.000 ans, la France n’était qu’un désert** au nord d’une ligne à la latitude d’Orléans ; **la Manche n’existait pas**.

En revanche, d’autres datations effectuées à partir de carottes de corail prélevées dans l’atoll de Mururoa, ont montré que **vers – 125.000 ans, le niveau de la mer était très voisin du niveau actuel**.

Au total, il a été établi que **la mer a subi cinq oscillations majeures depuis 150.000 ans, liées à de grandes variations climatiques** et ces phénomènes ont pu être vérifiés partout dans le monde.

Parallèlement, **l’analyse de carottes glaciaires prélevées dans l’Antarctique**, à Vostok, a permis d’effectuer des datations allant jusqu’à -420.000 ans, notamment grâce aux travaux de Claude LORIOUS et du Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l’Environnement du CNRS situé à Grenoble en coopération avec des chercheurs soviétiques.

Des résultats obtenus à la suite du forage dans les sédiments marins ont permis de reconstituer l’histoire thermique des océans jusqu’à - 200 millions d’années (*Deep sea drilling project* mené à bien dans le Pacifique au cours des années 1970).

Il a été observé qu’**au début de l’ère tertiaire, la température au fond de la mer était de 18° à 20° C**, ce qui illustre l’ampleur des contrastes climatiques.

Par ailleurs, **le programme international CLIMAP** réalisé de 1971 à 1976, a permis de dresser **la carte climatologique de l’été – 18.000** avec une précision de l’ordre de $\pm 1,5^\circ$ C.

Cela fut possible en classant en quatre groupes de population (tropical, subtropical, subpolaire et polaire) la quinzaine de foraminifères (1) vivant près de la surface des eaux du large ; ceux-ci s’établissant dans un habitat défini notamment par sa température.

CLIMAP a établi qu’à cette époque, **en hiver, la banquise s’étendait de New-York à Brest**.

D’autres résultats essentiels ont été obtenus en étudiant les moraines (2) pour retracer **l’extension des glaciers continentaux**.

(1) *Petites coquilles calcaires qui se déposent au fond des océans après la mort de l’organisme animal qu’elles abritent. L’analyse de la composition isotopique de l’oxygène contenu dans le carbonate de leur coquille permet de déterminer la composition isotopique de l’eau dans laquelle ils vivaient et, de là, la quantité de glace constituant les calottes polaires.*

(2) *Débris de roches entraînés par les glaciers.*

Ils ont montré que, vers – 18.000 ans, les glaciers s'étendaient jusqu'au sud de Chicago et de New-York pour l'Amérique du Nord et jusqu'à Bristol, Leipzig et Varsovie pour l'Europe du Nord et que, vers -8.000 ans, Paris devait connaître un climat équivalent à celui actuel de la Laponie.

A cette époque, il est probable que les régions de la Loire, de la Bourgogne, du nord des Alpes et du nord des Carpates étaient recouvertes de toundras.

Une autre méthode, fondée sur l'analyse des pollens fossiles –la palynologie- a également donné des résultats très riches.

A partir des grains de pollens laissés par les plantes dans les sols fossiles, les diverses espèces de plantes, présentes à telle ou telle époque, sont identifiées.

L'intérêt de cette méthode est liée au fait que les pollens peuvent se conserver dans les sols pendant plusieurs dizaines de millions d'années. **Grâce aux pollens, les températures de dizaines de millions de printemps et d'étés peuvent être déduites avec une précision de 2° à 3° C**; de même l'importance de l'humidité peut être appréciée au moyen de cette technique.

L'ensemble de ces éléments a montré que de très importantes variations climatiques ont existé dans le passé et que **le climat actuel n'a pas a priori de raison d'être plus immuable que chacun des climats qui l'a précédé.**

V. LE CLIMAT EST MÉCONNU

A. LA MÉCONNAISSANCE DES CLIMATS DU PASSÉ

Le caractère variable du climat constituant une de ses caractéristiques essentielles, il est important d'étudier les climats du passé pour connaître l'ampleur même des variations déjà intervenues depuis le début de l'histoire climatique, les causes et effets de ces changements pour mieux appréhender la portée des variations actuellement constatées ou redoutées pour le futur.

L'étude des paléoclimats ou paléoclimatologie est parvenue à une assez bonne connaissance de l'évolution de ceux-ci au cours des deux derniers millions d'années. Elle a mis en valeur **l'alternance de cycles glaciaires et de périodes interglaciaires. L'écart entre la température moyenne à la surface de la Terre au cours des périodes interglaciaires, et celle qui régnait lors de l'extension maximale des glaces, était de l'ordre de 5°.**

Ces variations s'accompagnaient de grandes modifications du volume des glaces et donc du niveau de la mer.

Ces alternances ont d'abord été expliquées par les modifications de l'orbite de la Terre autour du Soleil. Toutefois, à partir des forages opérés dans l'Antarctique qui ont pu étudier une période supérieure à 200.000 ans, il a été démontré que **les variations climatiques étaient accompagnées de modifications importantes de la composition de l'atmosphère**. A partir de là, il a pu être déduit que **des changements climatiques importants et très rapides avaient eu lieu** sans que ceux-ci soient reliés à l'orbite de la Terre autour du Soleil. Par exemple, il y a 11.500 ans, en quelques décennies, les températures ont augmenté de 7° au Groenland, puis ont décliné au cours d'une période de 500 à 2.000 ans. Dans le même temps, les précipitations doubleraient en l'espace de 3 ans.

Autre exemple, la fin de la période glaciaire s'est traduite par un réchauffement de 10° en 400 ans dans l'Atlantique Nord.

Même si le climat des 10.000 dernières années apparaît plus stable, il semblerait que **d'importantes variations régionales** aient existé. Le Petit âge glaciaire semble avoir touché une importante partie de la planète (1450-1850). C'est pourquoi l'Académie des Sciences a émis l'hypothèse que le réchauffement global, détecté depuis 1850, était peut-être, au moins en partie, lié à la fin du Petit âge glaciaire. Elle a insisté sur le fait que **des changements climatiques importants peuvent intervenir à l'échelle d'une vie humaine**.

B. LES INCONNUES DU CLIMAT PRÉSENT

Deux éléments contribuent à l'imparfaite connaissance du climat en dépit des avancées spectaculaires de la science, il s'agit des nuages et des océans.

Les nuages : la connaissance insuffisante de la microphysique des nuages ne permet pas de considérer comme résolues nombre de questions.

Or, toutes les précipitations –pluie, neige ou grêle- viennent des nuages, de la vapeur d'eau qui se condense dans les nuages. **La limitation du contenu en vapeur d'eau de l'atmosphère dépend des processus qui se**

déroulent dans les nuages. Les changements dans l'humidité atmosphérique affectent fortement l'effet de serre.

L'océan : il est le **grand régulateur des changements climatiques**. Ses 1.320 millions de km³ représentent 97 % de l'eau de la planète dont il recouvre 70 % de la surface.

Il emmagasine l'énergie et la transporte à travers la planète depuis les tropiques, où l'eau approche les 30°, jusqu'aux hautes latitudes. Il est considéré que l'océan se charge d'environ la moitié de ce transfert de chaleur, l'autre moitié étant assurée par l'atmosphère.

Jusqu'à une date extrêmement récente, l'océan était mal connu.

Il a fallu attendre le lancement du **satellite Topex-Poseidon**, en 1992, par le CNES et la NASA pour que soit connu le niveau des océans à quelques centimètres près.

Il est alors apparu que **l'océan présente une surface très bosselée reproduisant en grande partie les reliefs des fonds marins.**

L'étude de **la circulation océanique**, souvent comparée à un gigantesque tapis roulant peut être menée. Les caractéristiques de ce mouvement de surface qui fait plonger les eaux froides et remonter les eaux chaudes en un long périple d'une durée approchant le millier d'années, peuvent enfin être analysées.

L'eau froide qui plonge en mer de Norvège, en mer du Labrador et autour de l'Antarctique, coule au fond de l'Atlantique, passe le cap de Bonne Espérance et poursuit dans l'océan Indien où une partie remonte tandis que l'autre ne refait surface que dans l'océan Pacifique. Au-dessus de ce tapis inférieur circule, en surface et en sens contraire, l'eau chaude.

Cette circulation, aussi appelée **circulation thermohaline**, est amorcée par les différences de densité entre deux masses d'eau inégalement chaudes et inégalement salées. En effet, près des pôles, la mer est davantage salée car la part de l'eau qui gèle contient moins de sel que l'eau liquide.

D'où les préoccupations des climatologues et des océanologues liées à un éventuel réchauffement climatique : **la fonte des glaces risque-t-elle de ralentir, voire de supprimer la plongée des eaux froides très salées et donc d'interrompre le fonctionnement du tapis roulant de la circulation océanique ?**

Dans une telle hypothèse, c'est le rôle de l'océan en tant que régulateur du climat qui serait remis en cause. Cela pourrait avoir un effet paradoxal : le réchauffement en cours inclurait un refroidissement.

En effet, **en l'absence du rôle adoucissant du *Gulf Stream***, le nord de l'Europe serait, dans ce cas, particulièrement touché. **Le Royaume-Uni et la France pourraient connaître des hivers proches des hivers canadiens actuels.**

C. LES CLIMATS FUTURS RESTENT À DÉCOUVRIR

Les connaissances des climats passés et les données relatives au climat présent permettent de mieux cerner le climat futur.

D'une part, en prévoyant **le retour des glaces** lié aux variations de l'ensoleillement de la Terre, ce qui devrait survenir **d'ici à 70.000 ans** ; le Canada et la Scandinavie devraient être concernés.

Ce qui permet de noter que le réchauffement actuellement constaté s'inscrit dans un cycle plus large de refroidissement.

Une multitude de données recueillies, tant sur les climats passés que présents permet d'utiliser **la modélisation numérique** au moyen d'ordinateurs surpuissants pour tenter d'élaborer quelques projections.

Comme cela sera développé plus loin, plus le rôle de l'homme dans le réchauffement climatique pourra être prouvé, **plus les modèles climatiques devront intégrer des variantes économiques ainsi que des données concernant les cycles bio-géo-chimiques.**

Toutefois, le réalisme croissant des modèles climatiques finit d'ailleurs par conduire aux mêmes **difficultés d'interprétation** que celles rencontrées lors de l'observation des multitudes de données issues de la réalité.

VI. LE CLIMAT N'EST PAS MAITRISABLE PAR L'HOMME

Tout au long de l'histoire de la planète bleue, l'homme –apparu bien après la naissance de celle-ci- a subi le climat tout en s'efforçant de s'y adapter.

Ni la circulation océanique, ni l'évolution des nuages, ni la quantité d'énergie solaire reçue par la Terre ne sont maîtrisables par l'homme.

Il s'agit là d'une évidence à rappeler dans l'hypothèse, où s'il était établi que l'homme a pu influencer sur l'évolution du climat, il ne serait peut-être pas à même de corriger les dérèglements qu'il aurait introduits. Il se serait trouvé à l'origine d'enchaînements de causalités qui le dépassent tant par leur dimension que par la large méconnaissance de leurs mécanismes internes.

CHAPITRE SECOND : L'EFFET DE SERRE

La mince couche constituée par l'atmosphère et à l'intérieur de laquelle s'élabore le climat de la planète joue un rôle actif dans la quantité de chaleur reçue du Soleil et conservée par la Terre et son atmosphère.

En effet, une grande partie des rayons du Soleil traverse l'atmosphère, 30% étant réfléchis vers l'espace, principalement par les nuages, les molécules de l'air, et les surfaces claires (neiges, glaces, déserts). Les 70 % absorbés, en partie par l'humidité de la basse atmosphère mais principalement par la surface (50 %), sont convertis en chaleur. Les températures à la surface dépendent des conditions d'évacuation de cette chaleur vers l'espace sous forme de rayonnement infrarouge.

Mais, alors qu'une fraction importante des rayons provenant du Soleil traverse l'atmosphère, seule une petite partie de ceux renvoyés vers l'espace sous forme de rayons infrarouges quittent l'atmosphère sans entrave ; du fait de la présence de gaz, dits à effet de serre, dans l'atmosphère, la plus grande partie du rayonnement infrarouge y est absorbée et ré-émise de nombreuses fois, recyclée en quelque sorte, contribuant ainsi au réchauffement atmosphérique.

L'atmosphère se comporte comme une serre de jardinier ou les vitres d'une voiture piégeant une partie de la chaleur reçue, les gaz à effet de serre augmentant, de plus en plus, l'épaisseur du vitrage.

I. GRACE A L'EFFET DE SERRE, UNE TERRE ACCUEILLANTE

Comme déjà indiqué dès l'introduction de cette étude, la vie sur Terre est grandement favorisée par l'existence de l'effet de serre. Sans lui, la température moyenne sur la planète serait inférieure d'environ 30° à ce qu'elle est aujourd'hui et s'établirait à environ - 18°, d'où la nécessité de répéter sans relâche que **l'effet de serre n'est ni une calamité, ni un risque naturel, mais un phénomène physique rendant la vie sur Terre plus agréable à l'homme dans les conditions climatiques générales actuelles.**

Au lieu donc de citer l'effet de serre comme un phénomène négatif, il faut s'interroger sur l'ampleur de l'intensification de celui-ci, appelée aussi

effet de serre additionnel, le qualificatif additionnel renvoyant à l'action propre de l'homme dans ce phénomène naturel.

II. LA RÉALITÉ DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE

Que l'existence de l'effet de serre soit un bienfait implique-t-il que son intensification augmente l'agrément de la vie sur Terre ?

Après un long cheminement, ce n'est que depuis quelques années, que l'idée de l'intensification de l'effet de serre se produisant dans l'atmosphère a émergé.

Mais c'est seulement en 1995, dans le deuxième rapport du GIEC que les climatologues commencent à parler de l'émergence du **signal de réchauffement**.

Les mesures de l'augmentation de la présence des gaz à effet de serre effectuées ont bien montré la réalité de cette augmentation.

Ces mesures ont résulté tant de l'analyse de bois fossiles que des carottes glaciaires ou d'observations effectuées *in situ* à partir de 1958.

Au-delà des causes naturelles (variations du rayonnement solaire, injection et disparition des voiles d'aérosols liées aux éruptions volcaniques, fluctuations naturelles des gaz à effet de serre...), **la présence accrue de gaz à effet de serre due aux émissions anthropiques renforce mécaniquement l'effet de serre.**

L'analyse (1) d'échantillons de bois, vieux de quelques milliers d'années pour les plus anciens, a montré, dès les années 1950, que la radioactivité due au carbone 14, au lieu de croître avec les échantillons les plus récents, diminuait à partir de 1850 environ. Il fut établi que ce phénomène, inverse de celui attendu, provenait de la présence dans l'atmosphère de carbone fossile très ancien et qui n'était donc plus chargé en carbone 14. Ce carbone fossile n'était autre que le produit de la combustion du charbon et du pétrole correspondant aux émissions de la révolution industrielle.

Pour autant, si la réalité de l'intensification de l'effet de serre n'est pas contestée, des incertitudes demeurent.

(1) Cette analyse fut menée par Hans SUESS (Etats-Unis d'Amérique)

En effet, **tout le carbone émis dans l'atmosphère sous forme de CO₂ ne s'y retrouve pas**. Il s'en faut même de près de la moitié. Cela provient en partie des forêts et en partie des océans qui, jusqu'à présent, emmagasinent du carbone. Ils jouent le rôle de ce qui est appelé **les puits de carbone** –expression un peu ambiguë qui signifie que les océans et les forêts se comportent comme des réservoirs dans lesquels disparaît le carbone et non comme des gisements d'émission de carbone.

III. LES CAUSES DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE

L'effet de serre, comme cela a été exposé, résulte de causes naturelles comme de causes humaines. Son intensification aussi, mais il est important de distinguer entre les deux causes d'intensification dans la mesure où, si l'homme entend combattre celle-ci, il ne pourra tenter d'agir que sur les causes humaines, les causes dites anthropiques.

A. LES CAUSES NATURELLES DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE

Puisque la chaleur amplifiée par l'effet de serre est d'abord celle émise par le soleil, l'idée de se demander si le réchauffement global et l'intensification naturelle de l'effet de serre ne provenaient pas de l'augmentation des rayonnements solaires a été explorée.

1. La variabilité des rayonnements solaires

Dès la fin XIX^{ème} siècle, **la théorie astronomique des climats** a été formulée, expliquant la variation du climat par celles de l'ensoleillement au cours des âges.

Vers 1924, le mathématicien serbe, **Milutin MILANKOVITCH** a développé cette théorie, non plus en la fondant sur des variations de l'ensoleillement global, mais sur **l'évolution du mouvement de la Terre autour du Soleil et de l'orientation de son axe de rotation, qui modifient la répartition de l'ensoleillement avec la latitude et les saisons**.

Il a pris en compte **les changements de la forme de l'ellipse** décrite en une année par la Terre autour du Soleil –l'excentricité (1) – l'oscillation de

(1) Période de variation de 100.000 à 400.000 ans.

l'obliquité (1) qui caractérise l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au plan de l'orbite terrestre -dit aussi plan de l'écliptique- et la position de la Terre sur l'ellipse à un moment précis de l'année –phénomène de la précession des équinoxes (2).

Chacun de ces paramètres varie avec des périodes différentes.

Selon cette théorie, ces variations suffisent à provoquer les alternances entre climats glaciaires et climats interglaciaires.

2. Rayonnements solaires et températures

L'analyse spectrale des teneurs isotopiques de sédiments marins prélevés dans l'océan Indien est venue confirmée la théorie de Milutin MILANKOVITCH.

En effet, des cycles de réchauffement et de refroidissement sont apparus au cours des 500.000 dernières années avec des périodicités de 100.000, 43.000, 24.000, et 19.000 ans.

Il y a eu affaiblissement de l'effet de serre au cours de l'expansion des calottes de glaces puis intensification lors de la déglaciation, et ces variations naturelles, agissant en boucle de rétroaction positive \diamond , permettent de comprendre l'ampleur des alternances climatiques commandées par les cycles astronomiques de MILANKOVITCH.

B. LES CAUSES HUMAINES DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE

Elles sont constituées essentiellement par :

- **la combustion du carbone fossile** (charbon, pétrole). Les 6 milliards de tonnes brûlés par an dégagent **22 milliards de tonnes de gaz carbonique** ;

- **le déboisement** : le bois, les branches, l'humus forestier dégagent du gaz carbonique. Cette quantité annuelle est estimée **entre 6,6 milliards de tonnes et 17,6 milliards de tonnes.**

Que représentent ces quantités annuelles par rapport à la totalité du gaz carbonique de l'atmosphère ? Environ **1 %**, soit de 28,6 à 39,6 milliards de tonnes sur 2.600 milliards de tonnes.

(1) Période de variation de 41.000 ans.

(2) Période de variation de 19.000 à 23.000 ans.

Compte tenu de l'augmentation prévisible du niveau des émissions d'origine humaine, ce taux de 1 % est loin d'être négligeable.

En outre, les gaz à effet de serre autres que le carbone doivent être pris en compte.

IV. L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE RÉSULTE DE SOURCES REGIONALES DIVERSES

L'intensification de l'effet de serre provient en grande partie du surcroît d'émission de gaz à effet de serre par l'homme depuis la révolution industrielle.

Ce simple énoncé donne déjà une idée d'une concentration des sources d'émission de **dioxyde de carbone dans l'hémisphère nord** mais cela doit être complété par le rappel du rôle du **méthane dégagé par les ruminants** (bovins, moutons, chèvres et chameaux), par les terres inondées (toundras marécageuses de la Sibérie ou du Nord canadien, forêt amazonienne, mangroves tropicales, ...) dont, essentiellement, les rizières (la production de riz a doublé depuis 1940) et par les fuites provenant de l'exploitation du gaz naturel ou des mines de charbon (le grisou).

Parmi **les sources de gaz carbonique** figurent, outre l'industrie, les transports et l'habitat, les déforestations (Canada, nord de l'Europe, forêts tropicales...).

Enfin, pour **les aérosols**, ceux-ci demeurent proches de leur lieu d'émission.

Une carte mondiale des émissions de gaz carbonique par combustion d'énergie fossile reflète strictement le degré d'industrialisation des pays et/ou leur recours à des procédés polluants de production. Sur une telle carte, **l'Europe** –y compris l'Europe centrale et l'Europe Orientale-, le **Japon, les deux Corées, la Chine et Taï wan**, l'extrême sud et le nord-est du **sous-continent indien, les Etats-Unis d'Amérique** ressortent nettement.

À l'intérieur de ces pays ou unions de pays, se détachent plus particulièrement le sud du Japon, les deux Corées, le nord-est de la Chine, le nord et le nord-est de l'Europe, en particulier les Pays-Bas et l'Allemagne, la Grande-Bretagne, l'est des Etats-Unis d'Amérique, en particulier la côte nord-est.

Une carte mondiale des émissions de méthane par les animaux fait ressortir le Bangladesh, le sous-continent indien, l'Europe -à l'exception de l'Espagne et du Portugal- dont très fortement les Pays-Bas, le sud du Brésil et la Nouvelle-Zélande .

V. L'IRRÉVERSIBILITÉ DE L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE ET DU RYTHME DE CELLE-CI

Si des effets négatifs de l'intensification de l'effet de serre apparaissent et, dans la mesure où cette intensification est largement due à l'homme, pourquoi ne pas modifier la conduite humaine pour revenir à une situation climatique optimale ?

A. LES CAUSES NATURELLES DE L'IRRÉVERSIBILITÉ

Il a déjà été exposé que la variation de **l'ensoleillement de la Terre**, cause naturelle importante de l'intensification ou de l'affaiblissement de l'effet de serre, obéit à des cycles qui s'imposent à l'homme.

S'imposent également à l'homme **les caractéristiques physiques et chimiques des gaz à effet de serre** dont les temps de résidence dans l'atmosphère, très variables et parfois très longs constituent des données.


De même, **les capacités des forêts ou des océans à absorber le dioxyde de carbone** ne sont pas modifiables –en dépit de propositions émises à ce sujet comme celle consistant à déverser de la limaille de fer sur l'océan pour augmenter sa capacité d'absorption de gaz carbonique sans connaître l'influence de cette action sur le plancton.


B. LES CAUSES HUMAINES DE L'IRRÉVERSIBILITÉ

Dans le domaine de l'émission de gaz à effet de serre, il n'est pas évident que l'homme puisse défaire un jour ce qu'il a fait au cours des deux derniers siècles.

D'abord parce qu'il n'est pas certain qu'il en ait la volonté. En effet, réduire les émissions de gaz à effet de serre, cela signifie renoncer à continuer de développer les sociétés industrielles selon le modèle qui a fait leur prospérité et, en outre, refuser ce type de développement aux pays qui y aspirent.

De plus, en supposant cette volonté établie, **même si l'homme cessait aujourd'hui d'émettre immédiatement tout gaz à effet de serre dans l'atmosphère, il devrait tout de même subir, durant de très nombreuses années encore, les effets des gaz émis depuis 150 années** –une molécule de gaz carbonique résidant dans l'atmosphère 120 ans environ après son émission et certains perfluorocarbures (CFC) ayant des durées de vie de plusieurs milliers d'années.

Comme cela a été indiqué lors de son audition par M. Michel PETIT, membre du GIEC , en évoquant des extrapolations menées pour voir ce qu'il adviendrait si les pays développés appliquaient les idées des Verts néerlandais, tandis que la Chine, l'Inde et les pays en voie de développement augmenteraient leurs émissions de carbone sans prendre de mesures particulières, alors dans un tel contexte, *« la température continuerait à augmenter, son accroissement n'étant réduit que d'environ 15 % par les politiques restrictives menées par les pays développés. Une telle projection montre que le réchauffement climatique est inéluctable et qu'il est indispensable de s'y adapter, tout en cherchant à en limiter l'amplitude et le rythme. Si on persiste à ne rien faire, une véritable prise de conscience pourrait survenir brutalement et conduire à prendre des mesures limitant sévèrement l'exploitation des réserves de combustibles fossiles dont le coût économique pourrait être considérable »*.

Lors de son audition, M. Daniel CARIOLLE, Directeur de la recherche de METEO-France , a estimé que **le changement climatique était inexorable**.

Si les gaz à effet de serre ont bien eu pour effet de provoquer un changement climatique se traduisant notamment par un réchauffement, par la montée du niveau des océans, et par l'augmentation des précipitations alors ces conséquences interviendront même si l'homme mène dès aujourd'hui l'action la plus volontariste qui soit.

DEUXIÈME PARTIE : GAZ À EFFET DE SERRE ET AÉROSOLS

Présentation de la deuxième partie par le sénateur Marcel DENEUX □

CHAPITRE PREMIER : LES GAZ A EFFET DE SERRE

Les gaz à effet de serre -dont la liste n'est pas close- peuvent être émis par la nature ou par l'homme.

Leurs caractéristiques sont très diverses : ainsi, leur capacité de réchauffement, comme leur durée de résidence dans l'atmosphère sont très inégales.

L'homme possède seulement un pouvoir sur le rythme et le volume des émissions des gaz à effet de serre.

Il peut aller jusqu'à renoncer à en émettre de nouveaux ou à mettre fin à l'émission de gaz de source exclusivement anthropique.

I. LES GAZ À EFFET DE SERRE NON EXCLUSIVEMENT GÉNÉRÉS PAR L'HOMME

La liste des gaz à effet de serre non générés exclusivement par l'homme comprend **la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane, le protoxyde d'azote, l'oxyde d'azote, et l'ozone**. Celle des gaz à effet de serre générés exclusivement par l'homme comprend les gaz ci-dessus, mais elle est bien plus longue.

Habituellement, les gaz à effet de serre sont présentés en mentionnant que certains d'entre eux résultent à la fois d'émissions naturelles et d'émissions anthropiques et sans qu'il soit précisé la part respective des deux grandes catégories d'émissions. Mais, dans l'étude du rôle que ces gaz jouent dans l'intensification de l'effet de serre, il est particulièrement intéressant d'essayer de distinguer, gaz par gaz, la part des émissions naturelles et des

émissions dues à l'homme, ne serait-ce que pour constater la difficulté d'opérer une distinction entre ces deux sources ; par exemple, les émissions d'une forêt ou d'une prairie sont-elles ou non naturelles ? En totalité ou en partie ? Dans quelles proportions ?

De plus, pour apprécier l'importance de chacune de ces sources, il est indispensable de pouvoir les chiffrer. Or, **beaucoup des mesures de ces gaz ont un caractère assez récent** ; il est nécessaire de les compléter tant par des investigations paléoclimatologiques poussées que par la mise en œuvre de nouvelles mesures.

A. LA VAPEUR D'EAU

Assez souvent, dans l'énumération des gaz à effet de serre, la vapeur d'eau est oubliée, alors qu'il s'agit du **premier gaz à effet de serre dans l'atmosphère**. Elle représenterait **les deux-tiers, voire 70% de l'effet de serre total**.

En revanche, on la trouve mentionnée parmi **les rétroactions de l'intensification des gaz à effet de serre** car, en réponse à une augmentation du gaz carbonique, la vapeur d'eau augmente en liaison avec l'élévation de la température. Cette rétroaction a pour effet de doubler le réchauffement initial. Toutefois, une marge d'incertitude existe sur l'ampleur de son rôle.

Dans les déserts, l'humidité relative de l'air (1) est encore de 10 %, elle approche de 0% en altitude dans l'Antarctique. Le taux de l'humidité relative varie non seulement selon les lieux, mais en fonction des saisons et même des heures du jour. Pour une même température, l'humidité relative peut varier très largement. Par exemple, elle peut être de 70 % sous les tropiques et de 15 % dans le Sahara pour une même température de 27°C au milieu de la journée.

Pour leur part, **les minuscules gouttelettes d'eau des nuages** renvoient une grande partie des rayons infrarouges émis par le sol dans leur direction initiale renforçant ainsi l'effet de serre, notamment la nuit.

B. LE DIOXYDE DE CARBONE (CO₂)

L'intensification de l'effet de serre due à l'accumulation des émissions anthropiques de ce gaz représente **60 % du renforcement anthropique total de l'effet de serre**.

(1) L'humidité relative est le rapport pour une température donnée, entre le poids de vapeur par mètre cube et le poids de vapeur saturante –teneur en vapeur d'eau maximale pour une température donnée.

Sa concentration dans l'atmosphère est passée de 280 ppmv (1) en 1750 à 315 ppmv en 1958, 345 ppmv en 1984 et à 367 ppmv en 1999.

Cette concentration fut pratiquement constante pendant les trois-quarts du deuxième millénaire.

Entre les mesures effectuées actuellement et les reconstitutions autorisées par l'analyse des carottes glaciaires, il est permis de conclure que **l'accélération des émissions de dioxyde de carbone au cours du dernier millénaire est intervenue essentiellement depuis le début de l'ère industrielle**. Toutefois, au cours de l'histoire de la planète, des variations importantes sont déjà survenues en liaison avec des variations de température.

La distinction entre les émissions de dioxyde de carbone par les terres ou par les océans d'avec celles causées par l'homme n'a pu être mise en évidence qu'au cours de la période récente retracée par les mesures effectuées à partir de 1958 sur le mont Mauna Loa (Hawaï). Pour toute la période antérieure, ce sont les carottes glaciaires extraites de l'Antarctique, par exemple du Taylor Dome, ou de Vostok, qui fournissent les données essentielles. Grâce à ces forages, il est possible de remonter jusqu'à 420.000 ans (Vostok) avant la période actuelle.

Ces données permettent d'affirmer qu'au cours du réchauffement intervenu il y a 1.500 ans, la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère est passée de 200 à 280 ppmv –soit approximativement la même augmentation que celle de l'ère industrielle en cent cinquante ans- mais cette évolution a duré plusieurs milliers d'années.

Au rythme actuel d'émission, la concentration atmosphérique de gaz carbonique dépasserait 400 ppmv en 2025 et 500 ppmv vers 2100.

C. LE MÉTHANE (CH₄)

Quant au méthane, le gaz des marais, sa contribution à l'intensification de l'effet de serre représente 20 % de celles des gaz à effet de serre de longue durée émis par l'homme. D'après les mesures opérées, les concentrations ont augmenté d'environ 150 % depuis 1750, et il semble que le seuil atteint actuellement n'ait jamais été dépassé au cours des 420.000 années précédentes.


Ce gaz apparaît dans l'atmosphère à la suite de réactions chimiques.

(1) parties par million en volume, soit 1 cm³ par m³.

Comme le gaz carbonique, le méthane peut être d'origine naturelle, par exemple lorsqu'il se dégage des zones humides naturelles, ou d'origine animale (fermentation entérique \diamond) ou bien d'origine humaine, lorsqu'il provient de l'agriculture (rizières inondées), de l'extraction de gaz ou des prairies. Il est considéré que **plus de la moitié des émissions de méthane sont d'origine anthropique.**

Les mesures systématiques de ces émissions ne datent que de 1983 ; là encore, pour toute la période passée, il faut recourir à l'analyse des carottes glaciaires.

Les sources naturelles de méthane sont **les sols pour 65 % environ et les océans pour 30 %.**

Lors de son audition, M. Robert KANDEL  a relevé qu'**en cas de réchauffement, il existerait un risque de dégagement important de méthane piégé sous forme d'hydrates dans les sédiments sous-marins comme dans les pergélisols** alors que ce gaz possède un potentiel d'effet de serre bien plus puissant que le CO₂.

Il s'agirait là d'une cause humaine indirecte même si cette émission provenait de l'océan.

D. LE PROTOXYDE D'AZOTE (N₂O)

La contribution du protoxyde d'azote ou oxyde nitreux représente environ **6 % du total des gaz à effet de serre** .

E. L'OXYDE D'AZOTE (NO_x)

Certains gaz ont seulement **une influence indirecte sur le réchauffement**. Tel est le cas, par exemple, de l'oxyde d'azote (NO_x) qui est la somme de deux gaz nitreux, le NO et le NO₂ ensemble appelés « NO_x », du monoxyde de carbone (CO), et des composés organiques volatils (COV).

Ces polluants ont **une influence non seulement sur la formation de l'ozone, mais aussi sur la durée de vie du méthane et d'autres gaz à effet de serre**. Il en sera question plus loin dans la mesure où les émissions de NO_x comme de monoxyde de carbone sont principalement générées par l'activité humaine.

F. L'OZONE (O₃)

L'ozone résulte d'un processus photochimique se produisant à partir de gaz précurseurs d'origine tant naturelle qu'humaine.

L'ozone possède des effets différents selon qu'il se situe dans la stratosphère ou dans la troposphère.

En effet, cet important gaz à effet de serre est présent dans ces deux couches de l'atmosphère mais, alors que, **dans la stratosphère, l'ozone agit à la fois sur le rayonnement ultraviolet solaire et sur le rayonnement infrarouge, provoquant un refroidissement à la surface du globe, à l'inverse, dans la troposphère, par sa contribution à l'effet de serre, il entraîne un réchauffement.**

G. LES HALOCARBURES

Leur contribution représente **14 % de l'effet de serre additionnel** provenant des gaz à effet de serre ajoutés. Pour la plupart d'entre eux, la source humaine est la seule origine.

II. LES GAZ À EFFET DE SERRE GÉNÉRÉS PAR L'HOMME

A. LA VAPEUR D'EAU

Il a été rappelé que la vapeur d'eau est le principal gaz à effet de serre dans l'atmosphère. S'il est vrai, par ailleurs, que lorsqu'on brûle des hydrocarbures, on produit de la vapeur d'eau en même temps (et en quantité comparable) que du CO₂, cependant, ces émissions de vapeur d'eau n'ont que des effets locaux (formation de brouillards, de nuages bas...), car le temps de résidence de la vapeur d'eau dans l'atmosphère ne dépasse pas la dizaine de jours.

En revanche, les temps de résidence atmosphérique sont beaucoup plus longs pour le CO₂ (un siècle ou plus) et le méthane (quelques années), que pour l'eau, et les rapports des flux anthropiques aux flux naturels sont bien plus importants.

Il demeure que **les émissions anthropiques directes de vapeur d'eau sont négligeables par rapport aux flux naturels sous réserve des émissions de l'aviation en altitude.**

Dans la mesure où un réchauffement a tendance à augmenter la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère, **les émissions anthropiques de gaz à effet de serre à vie longue tendent à générer un surplus de vapeur d'eau.** Cela agit alors en boucle de rétroaction positive, amplifiant le réchauffement. Or, les émissions de gaz carbonique, de méthane, et d'autres gaz à effet de serre qui tendent à s'accumuler dans l'atmosphère, peuvent être plus ou moins limitées par l'intervention de l'homme...

B. LE DIOXYDE DE CARBONE (CO₂)

Comme cela a été vu plus haut, l'ère industrielle a marqué l'accélération des émissions de gaz carbonique dans l'air. Cela résulte tant de la combustion de combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel) que de la déforestation. Il peut être même considéré, comme l'estime **le GIEC**, dans son dernier rapport en 2001, que **l'accroissement de l'émission de dioxyde de carbone durant l'ère industrielle est dramatique.** En effet, ces experts ont noté que le taux annuel d'accroissement des émissions de CO₂ depuis 1980 est de 0,4 % par an.

Au cours des vingt dernières années, **70 % à 90 % des émissions de dioxyde de carbone proviendraient de la combustion des carburants d'origine fossile**, et **entre 10 % à 30 %** seraient issus du changement d'usage des terres, essentiellement **de la déforestation.**

La variation annuelle du niveau des émissions est parfois importante puisqu'elle oscille du simple au triple, et il a été relevé que les plus grands taux d'augmentation ont correspondu aux années où le phénomène *El Niño* ♦ s'est manifesté avec le plus d'acuité.

C. LE MÉTHANE (CH₄)

Plus de la moitié des émissions de méthane proviennent de sources anthropiques. A partir de l'année 1983, début des mesures précises de la concentration de ce gaz dans l'atmosphère, celui-ci a continué à augmenter en passant de 1,610 ppbv (1) en 1983 à 1,745 ppbv en 1998. Cependant, l'augmentation annuelle s'est réduite durant cette période.

De **grandes variations dans les émissions annuelles** ont été observées au cours des années 1990. Ainsi, en 1992, les émissions étaient

(1) parties par milliards en volume

proches de zéro, alors qu'elles dépassaient 13 ppbv en 1998. Il s'agit là d'une source d'interrogation pour les experts.

Dans la mesure où l'accroissement dans l'atmosphère de la présence du CH₄ résulte de l'équilibre entre les sources et les puits, toute prévision des taux futurs de concentration est difficile à établir. En effet, même si les principales sources ont été identifiées, elles sont difficiles à quantifier, étant toujours largement sujettes à variation, et ce déjà en fonction du changement climatique lui-même.

Il doit être rappelé qu'une importante part des émissions de méthane provient de **la culture du riz**, et de la **fermentation entérique chez les ruminants**, c'est-à-dire des vents émis par ceux-ci lors de leur digestion.

Curieusement, le résumé technique du dernier rapport du GIEC ne dit rien sur ce dernier point, tandis que la riziculture est à peine évoquée.

Cette omission provient-elle en partie du souhait d'encourager la Chine, forte productrice de riz, et l'Inde, possédant le plus vaste cheptel de ruminants, à adhérer aux objectifs du protocole de Kyoto ?

D. LE PROTOXYDE D'AZOTE (N₂O)

Les principales sources de protoxyde d'azote liées à l'activité humaine sont **l'agriculture** (emploi massif d'engrais azotés), la combustion de **la biomasse** ♦ et **les activités industrielles**.

Comme pour le méthane, **les concentrations annuelles de protoxyde d'azote varient sensiblement** ; c'est ainsi que, dans le cadre d'une croissance moyenne annuelle de 0,25 % (de 1980 à 1998), les émissions ont diminué de moitié, de 1991 à 1993. Il a pu être évoqué, pour expliquer ce phénomène, un recul dans l'emploi d'engrais azotés, ou des modifications provenant de l'activité volcanique. Toujours est-il qu'après 1993 la croissance annuelle du protoxyde d'azote a repris comme durant les années 1980.

A cet égard, il faut souligner que, comme de nombreuses fois dans l'étude de chacun des gaz à effet de serre, tout en apportant les données les plus précises actuellement connues sur les caractéristiques et l'évolution de ces gaz, le GIEC ne manque jamais de souligner que **nombre de phénomènes restent encore largement inexplicés**.

E. L'OXYDE D'AZOTE (NO_x)

L'importance de l'oxyde d'azote dans le bilan radiatif provient du fait que **ce gaz a la propriété de perturber plusieurs autres gaz à effet de serre** ; c'est ainsi qu'il contribue à la diminution de la présence de méthane et d'hexafluorocarbures (HFC), et qu'il augmente la formation d'ozone dans la troposphère.

Là encore, les experts se heurtent à une importante difficulté pour quantifier ce phénomène, mais ils ont la certitude qu'en 2100 l'augmentation de NO_x ne manquera pas de causer d'importantes modifications dans les gaz à effet de serre.

F. L'OZONE (O₃)

Ce gaz joue **un rôle essentiel pour le maintien de la vie sur la Terre**. Sa présence dans la haute atmosphère absorbe l'essentiel du rayonnement solaire ultra-violet de très courte longueur d'onde (UV-B) qui est nocif pour les êtres vivants (cancers de la peau pour les hommes et les animaux, inhibition de la photosynthèse, mutations génétiques...)

Le protocole de Montréal (1987) ambitionnait de diminuer de moitié pour l'an 2000 la production de perfluorocarbures (CFC) par rapport à 1986 mais c'est seulement vers 2050 que le niveau de concentration pourrait être identique à celui qui existait au début des années 1980, compte tenu de la durée de vie des CFC.

Quant à **l'ozone troposphérique**, qui résulte de l'émission de méthane et de divers polluants, sa concentration réagit rapidement aux variations des émissions polluantes. Sa présence, liée aux émissions des gaz précurseurs, est donc particulièrement prononcée **au-dessus de l'Amérique du Nord et de l'Europe**, ainsi qu'au-dessus **de l'est de l'Asie**. Cependant, une incertitude provient de l'absence ou de **la rareté des informations antérieures à 1960**, ce qui rend impossible une comparaison des zones de présence actuelles de l'ozone avec sa répartition antérieure.

G. LES HALOCARBURES

Presque tous les halocarbures ont pour origine les activités humaines (CFC-11 (CFC₁₁), CFC-12 (CF₂ Cl₂), CFC-113, CH₃, CCl₃, CCl₄, CFC-12, HCFCs, HFCs, PFCs, CF₄, C₂F₆...)

Ces gaz sont, par exemple, utilisés comme **propulseurs** dans les bombes aérosols, liquides **réfrigérants** (fréons), agents de fabrication des **mousses** de polymères, **solvants** pour l'électronique.

Pour la plupart de ces halocarbures ou de ces composés du carbone, qui contiennent du fluor, du chlore, du brome ou de l'iode, les activités humaines en sont les seules sources. Ceux d'entre eux qui contiennent du chlore ou du brome sont à l'origine du trou dans la couche d'ozone stratosphérique, et sont juridiquement contrôlés par les dispositions du **protocole de Montréal de 1987**. De ce fait, après avoir culminé en 1994, ces gaz sont en lent déclin.

En revanche, **les concentrations des substituts aux CFC sont en augmentation et certains d'entre eux sont des gaz à effet de serre**. Ainsi, la concentration de HFC-23 a triplé entre 1978 et 1995... Par ailleurs, les perfluorocarbures (PFCs), notamment le CF_4 et C_2F_6 , et l'hexafluorure de soufre (SF_6) sont **des gaz à effet de serre puissants qui demeurent très longtemps dans l'atmosphère**. Il faut y prendre garde, car **quoiqu'émis en très faibles quantités, ils risquent d'influer sur le climat futur**. Ainsi, le perfluorométhane (CF_4) possède un temps de résidence dans l'atmosphère d'au moins 50.000 ans, et les émissions dues à l'homme étant mille fois supérieures aux émissions naturelles, elles sont totalement responsables de l'accroissement observé.

Autre exemple : l'hexafluorure de soufre (SF_6) est 22.200 fois plus puissant, par unité émise, que le dioxyde de carbone, comme gaz à effet de serre. En conséquence, même une très petite concentration, mais avec un taux de croissance important, peut entraîner des répercussions.

H. LE MONOXYDE DE CARBONE (CO)

Pour évaluer l'impact du monoxyde de carbone, en termes de gaz à effet de serre, il suffit de noter que 100 millions de tonnes de ce gaz équivalent à l'émission d'environ 5 millions de tonnes de méthane.

Le monoxyde de carbone est deux fois plus présent dans l'hémisphère nord que dans l'hémisphère sud, et a augmenté, dans la seconde moitié du $XX^{\text{ème}}$ siècle, en même temps que l'industrialisation et la croissance démographique.

Même s'il s'agit d'**un gaz à effet de serre indirect**, son rôle est important.

III. LA LISTE DES GAZ À EFFET DE SERRE

En étudiant le rôle joué par les gaz à effet de serre dans l'intensification de celui-ci, il semblerait logique d'énoncer une liste limitative des gaz émis par la nature comme par l'homme, mais il est apparu que les gaz énumérés ci-dessus n'épuisaient pas le sujet. En effet, comme il ressort du tableau suivant, extrait du rapport 2001 du GIEC, **la liste des gaz à effet de serre ne se limite pas à ceux mentionnés dans le protocole de Kyoto**. Au lieu des six gaz dont l'encadrement est tenté à travers ce protocole, **le GIEC ne mentionne pas moins de 42 gaz à effet de serre ; de plus, cette liste elle-même n'est pas close**, de nouveaux gaz à effet de serre pouvant toujours être inventés par l'homme.

**Temps de résidence dans l'atmosphère et potentiel
de réchauffement global des gaz à effet de serre**
(sur la base d'une comparaison avec un kilogramme de dioxyde de carbone)

IV. LES QUELQUES GAZ À EFFET DE SERRE VISÉS PAR LES CONVENTIONS INTERNATIONALES

Jusqu'à présent, les conventions internationales n'ont pas retenu tous les gaz à effet de serre dans la liste de ceux dont les réductions sont envisagées.

C'est ainsi que **le protocole de Kyoto retient seulement six gaz à effet de serre :**

- le dioxyde de carbone (CO₂),
- le méthane (CH₄),
- l'oxyde d'azote (N₂O),
- les hexafluorocarbures (HFC),
- les perfluorocarbures (PFC),
- l'hexafluorure de soufre (SF₆).

Quelle part **la France** prend-t-elle dans leur émission ?

Pour les six gaz à effet de serre visés par le protocole de Kyoto, la France a émis, en 1990, 545 millions de tonnes d'équivalent de CO₂ - hors combustion de la biomasse et hors effet de « l'utilisation des terres, de ses changements et forêts (UTCF) », selon l'expression employée par les agronomes.

Une évolution spontanée aurait conduit à 688 Mte de CO₂ en 2010 (+26 %) et 783 Mte de CO₂ en 2020.

Compte tenu des mesures intervenues, le niveau des émissions pourrait être ramené à 519 Mte de CO₂ en 2010 (-4,6 % par rapport à 1990) et 531 Mte de CO₂ en 2020.

Cependant, votre Rapporteur insiste non seulement sur la nécessité de manifester une forte détermination à l'échelon international, mais encore à la faire suivre d'effets. A cet égard, les Etats-membres de l'Union européenne ont déclaré que **les HFC, PFC et SF₆ ne peuvent être considérés sur le long terme comme des substituts viables aux substances altérant la couche d'ozone**, ces divers gaz étant des gaz à effet de serre.

Néanmoins, une majorité d'Etats-membres se sont opposés à un système européen de taxation des gaz fluorés.

V. LES EFFETS RADIATIFS RESPECTIFS DES GAZ À EFFET DE SERRE ET LEURS RYTHMES D'ÉMISSION ET DE DISSIPATION

Ces rythmes sont propres à chaque gaz et souvent encore en partie méconnus, ne serait-ce que parce que le mécanisme d'absorption de certains gaz par la végétation ou les océans n'est pas encore complètement élucidé et que, de plus, rien ne permet d'affirmer que ce mécanisme continuera à fonctionner une fois les changements climatiques survenus.

De plus, il doit être encore une fois rappelé qu'un important puits d'absorption du gaz carbonique demeure non identifié.

Sous ces réserves, le tableau ci-dessous permet de garder en mémoire quelques ordres de grandeur :

| Gaz à effet de serre | Pouvoir de réchauffement (Watt /m ²) | Durée de vie (années) | Pouvoir de réchauffement par rapport au CO ₂ (1) |
|---|--|-------------------------------|---|
| Gaz du protocole de Kyoto | | | |
| - Dioxyde de carbone (CO ₂) | 50 | 100 à 120 | 1 |
| - Méthane (CH ₄) | 1,8 | 12 | 23 |
| - Oxyde d'azote (N ₂ O) | 1,3 | 114 | 296 |
| - Hexafluorocarbures (HFC) | | de quelques mois à 260 années | 12 à 12000 |
| - Perfluorocarbures (PFC) | | 2600 à 50000 | 8900 à 18000 |
| - CFC 11 | 100 | | |
| - CFC 12 | | | |
| - Hexafluorure de soufre (SF ₆) | 1,3 | 3200 | 22200 |
| Autres gaz | | | |
| - Vapeur d'eau (H ₂ O) | 0,12 | | |
| - Ozone troposphérique (O ₃) | 0,22 | | |

(1) A l'horizon de 100 ans, pour 1 kg de divers gaz à effet de serre comparé au pouvoir de réchauffement de 1 kg de dioxyde de carbone

Sur les 342 W/m^2 envoyés par le Soleil, le flux solaire moyen absorbé par la Terre est de 240 W/m^2 , ce qui correspond à une température de -18°C , mais, **grâce à l'effet de serre, la température moyenne au sol est de $+15^\circ\text{C}$** , ce qui correspond à un flux infrarouge émis de 390 W/m^2 .

Dans l'hypothèse d'un doublement de la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, 4 W/m^2 supplémentaires d'infrarouges seraient retenus dans la basse atmosphère.

Ce chiffre semble faible, mais ce piégeage est amplifié par les rétroactions du cycle de l'eau. Il peut être rapproché des données paléoclimatiques qui montrent que, **entre un climat interglaciaire et un maximum glaciaire, la température à la surface de la Terre diminue en moyenne de 4° à 5°** , alors que la variation d'origine astronomique du flux solaire reçu en moyenne est nettement inférieure à 5 W/m^2 .

VI. LE RÔLE DE LA BIOSPHERE CONTINENTALE DANS LE CYCLE DU CARBONE

Votre Rapporteur souhaite insister sur ce point pour souligner la difficulté de mesurer les variations de CO_2 et son influence sur la photosynthèse.

A. LA MESURE DE LA CONCENTRATION EN DIOXYDE DE CARBONE

Au centre du débat sur l'effet de serre et son intensification, se trouve **la nécessité de mesurer les variations de gaz carbonique dans l'atmosphère**, lesdites variations de la teneur en gaz carbonique ne pouvant être mesurées qu'à partir d'une bonne connaissance de l'état initial. Or, **cette connaissance est affectée d'une incertitude d'au moins 20 %**.

Dans le renouvellement du CO_2 atmosphérique, une différence entre les émissions et l'absorption apparaît puisque, sur les 7 milliards de tonnes de carbone rejetées annuellement par les activités humaines, un peu moins de la moitié se retrouve dans l'atmosphère sous forme de CO_2 , le reste étant absorbé, à parts presque égales, par les océans et par la biosphère continentale. Quant au carbone absorbé par les continents, qui fait l'objet de cette sous-partie, il ne peut être absorbé que par la biomasse (essentiellement le bois des arbres) ou la matière organique des sols.

A partir des mesures générales du taux de CO_2 dans l'atmosphère, menées seulement à partir de 1958, il est apparu que **la teneur en CO_2**

présente des fluctuations saisonnières variant avec la latitude. Il a été noté également que **80 % au moins des fluctuations saisonnières du CO₂ proviennent des échanges avec les continents**, ce qui explique que les variations augmentent avec les variations saisonnières du climat, surtout dans l'hémisphère nord, qui comporte beaucoup de continents.

Dans toutes les mesures effectuées, il est apparu que **l'augmentation de la concentration en CO₂ correspond à l'utilisation massive de combustibles fossiles**. Toutefois, si le carbone témoignant de cette utilisation est appauvri en ¹³C (1), c'est également le cas de celui qui provient de la déforestation. Or, si la consommation de combustible fossile peut être estimée avec moins de 10 % d'erreur, en revanche, **les rejets de CO₂ liés à la déforestation sont considérés comme entachés d'une erreur d'environ 80 %**.

En outre, **l'importance du stock de matières organiques empêche pratiquement de mesurer des variations sur une période inférieure à dix ans**, ce qui complique encore les estimations.

De nombreuses études ont été entreprises pour **étudier les variations de la biomasse** (celles de la culture, de la prairie, des forêts), estimer également le flux de CO₂ au niveau de l'écosystème (à partir des végétations basses, des forêts), à celui de l'étude des échanges gazeux de la branche, de la respiration du bois et du sol.

Au-delà de ces estimations permettant d'évaluer les échanges de CO₂ au-dessus des continents, **des estimations des flux de CO₂ à l'échelle régionale** ont également été tentées à partir de mesures effectuées sur des tours surplombant des forêts, ou d'appareillages embarqués à l'avant d'un avion. Ces mesures sont complétées par celles concernant la couche limite planétaire (CLP) (2) où un avion qui monte et descend dans cette couche mesure, de jour comme de nuit, le profil de température, d'humidité et de concentration en CO₂.

Pour compléter les différentes mesures continentales ou régionales, **des modèles d'échange de CO₂** ont été imaginés à partir des années soixante. Les modèles régionaux et globaux ont en général une maille d'espace de l'ordre de 50 à 100 km de côté.

(1) *Atomes de carbone qui, du point de vue chimique, ont les mêmes propriétés que le carbone ordinaire, mais dont le noyau est composé de six protons et de sept neutrons (alors que le noyau du carbone ordinaire se compose de six protons et de six neutrons).*

(2) *La couche limite planétaire est la zone dans laquelle les caractéristiques de l'air sont influencées par la présence de la surface terrestre. Elle représente quelques dizaines de mètres la nuit (sol plus froid que l'air, atmosphère stable) et aussi entre 1 et 3 km de hauteur en cas de beau temps (sol chaud).*

Selon les modèles employés, des résultats assez différents sont parfois obtenus, qui alimentent les divergences dans les conférences internationales ; c'est ainsi que certaines estimations concluent que les Etats-Unis d'Amérique constitueraient un puits pour le CO₂ en dépit des rejets importants provenant de la consommation des combustibles fossiles, ce qui apparaît peu crédible et étroitement lié au choix des stations de mesures retenues en l'espèce.

En effet, à l'heure actuelle, il est considéré que le réseau de mesures privilégie les mesures océaniques pour en tirer des moyennes par bandes de latitude, alors que le rôle des continents est amoindri, notamment lorsque ceux-ci émettent beaucoup de gaz carbonique.

B. L'INFLUENCE DE LA CONCENTRATION EN DIOXYDE DE CARBONE SUR LA PHOTOSYNTHESE

Il est apparu que **l'augmentation de la teneur en gaz carbonique pouvait avoir une influence éventuellement positive sur les écosystèmes**. En effet, l'augmentation de la productivité des écosystèmes, c'est-à-dire la stimulation de la photosynthèse, pouvait conduire à une augmentation de l'absorption de gaz carbonique.

Il a été constaté qu'une augmentation de 300 ppmv en CO₂ pouvait stimuler la photosynthèse des arbres isolés d'environ 60 % en moyenne – ces arbres isolés étant stimulés non seulement par l'effet direct du CO₂, mais aussi par la croissance supérieure de la surface foliaire. En revanche, la stimulation de la photosynthèse d'un couvert forestier fermé n'est que d'environ 25 % à 30 %. D'où la conclusion que **l'effet fertilisant du CO₂ peut constituer un puits de carbone important**. Il en est de même chez les plantes cultivées, pour lesquelles un doublement du CO₂ entraîne une augmentation de productivité de 30 à 40 %.

De plus, **l'augmentation de la température peut également accroître la productivité des forêts, en allongeant la durée de la saison de croissance**.

Une question reste à trancher, celle de savoir si les temps de résidence du carbone dans la biomasse et dans la matière organique du sol sont susceptibles de varier avec l'augmentation de la productivité.

La biosphère continentale absorbant environ chaque année près de deux millions de tonnes de carbone, la question demeure de savoir comment détecter cette augmentation du stock de carbone dans la biomasse et les sols, et apprécier l'homogénéité de ce stockage sur la surface des océans et dans les zones privilégiées.

Sur ces points, il a été noté que l'amplitude des fluctuations saisonnières du CO₂ a augmenté, ce qui suggère que l'augmentation démarre plus tôt, que **la saison de croissance végétale dure de plus en plus longtemps dans l'hémisphère nord (environ 8 jours de plus entre 1981 et 1991), que les forêts européennes poussent plus vite**, notamment les principales espèces forestières françaises (sapins, épicéas, chênes sessiles, chênes pédonculés, hêtres). La même tendance a été observée en Suisse et en Scandinavie. Cependant, il a été noté qu'au-delà de l'augmentation du CO₂, les dépôts d'azote et de soufre constituaient aussi une sorte d'apport involontaire d'engrais, à travers les mécanismes d'émission et de diffusion des polluants atmosphériques.

Ces modifications du gaz carbonique comme des températures doivent être prises en compte pour éviter des erreurs dans le choix des espèces plantées. En outre, **pour être durable, l'enrichissement en CO₂ doit s'accompagner d'une augmentation du flux d'azote disponible chaque année pour les arbres.** Cette possibilité de maintien du puits de carbone continental dépend très fortement de cette relation entre les sites de carbone et de l'azote.

Des mesures ont indiqué que **même dans des forêts considérées comme à l'équilibre, il semblait exister un puits de carbone significatif.** Toutefois, d'une manière générale, la biosphère continentale est actuellement en déséquilibre (augmentation du CO₂ atmosphérique, de la température, des dépôts azotés, changement d'utilisation des terres). D'où un accroissement général de la production primaire, mais il reste à estimer l'importance et la durée de ces phénomènes au cours des années à venir, en fonction de la variabilité du climat.

CHAPITRE DEUXIÈME : LES AÉROSOLS ET L'EFFET DE SERRE


Pendant longtemps, seuls les gaz à effet de serre ont été pris en compte pour étudier le phénomène du réchauffement climatique. Puis, il est apparu que les aérosols naturels ou créés par les activités humaines jouaient un rôle considérable dans l'évolution du climat, et même qu'ils constituaient pour l'Académie des Sciences (1), « *la plus grande source d'incertitude dans le calcul du forçage* ♦ *du climat* ». En effet, **les aérosols rediffusent le rayonnement solaire, modifient l'albédo ♦ des nuages et provoquent un refroidissement**. Ils favorisent aussi **la modification des équilibres micro-physiques et chimiques de l'atmosphère**.

I. LA NATURE DES DIFFÉRENTS AÉROSOLS

Parmi les aérosols d'origine naturelle figurent **les embruns marins, les particules arrachées par le vent, des composés gazeux** (le sulfure de diméthyle (DMS), l'ammoniac (NH_3), les hydrocarbures réactifs). Les activités humaines produisent, elles, des aérosols formés de **carbone** et de **soufre**.

L'importance du rôle joué par les aérosols n'est pas fonction de leur abondance dans l'atmosphère, mais de l'importance des transformations physico-chimiques complexes qu'ils y subissent. C'est pourquoi alors que l'oxysulfure de carbone (COS) est le composé soufré le plus abondant, son assez grande stabilité fait qu'il ne concerne pas vraiment le bilan radiatif. A l'inverse, **le dioxyde de soufre (SO_2), le sulfure de diméthyle** subissent, eux, des transformations complexes et quoique n'étant présents qu'à l'état de trace dans l'atmosphère, leur rôle y est remarquable.

Dans l'émission des sources de soufre, les activités humaines jouent un rôle important en atteignant 70 % des émissions globales. Toutefois, avant de développer quelques considérations que ce soit sur le rôle des aérosols dans l'effet de serre, il est essentiel de souligner que les estimations des principales sources de soufre gazeux dans l'atmosphère restent

(1) « *L'effet de serre* »  Académie des Sciences. Rapport n° 31. TEC & Doc. 1994. 86 p.

probablement entachées d'erreurs importantes, ainsi que l'a relevé l'Académie des Sciences dans le rapport précité.

Tel est le cas en particulier pour la présence et **le rôle du sulfure de diméthyle** dans l'eau de mer et pour son rôle dans les échanges océan/atmosphère.

En effet, trois incertitudes limitent les raisonnements : celles sur l'impact éventuel des changements climatiques sur la concentration de sulfure de diméthyle, une autre sur le coefficient d'échange entre l'eau de mer et l'atmosphère, et enfin, des mesures manquent pour de vastes réseaux océaniques. Une chose demeure : le DMS peut avoir un impact sur l'albédo des nuages stratiformes au-dessus des océans.

A côté des composés soufrés existent **des aérosols de combustion**. Les aérosols résultant de ce phénomène s'oxydent et interagissent avec d'autres gaz. C'est ainsi que le SO₂ en s'oxydant voit son sort lié à celui du carbone dans l'atmosphère. Dans les activités de combustion, l'homme joue un rôle essentiel et ce ne sont pas les combustions industrielles comme on pourrait d'abord le penser qui en constituent la source majeure, mais plutôt **les feux de biomasse** qui émettent deux fois plus de particules que les combustions industrielles de plus en plus réglementées.

Sur la surface du globe, les sources de carbone particulières se trouvent réparties de manière très dissymétrique. En effet, **près de 90 % des activités humaines sont concentrées dans l'hémisphère nord**, qu'il s'agisse des combustions industrielles des pays développés ou des combustions de végétations dans la ceinture intertropicale et sur le continent africain.

Dans l'évaluation des flux de particules, un contraste apparaît puisque le flux résultant des activités industrielles sont réguliers alors que celui des flux de biomasse est aléatoire, d'où la difficulté d'établir une évaluation.

Une fois établie l'origine des aérosols de combustion, il est indispensable d'en suivre le devenir car souvent, **ces aérosols se retrouvent à plusieurs milliers de kilomètres de leur lieu d'émission**. L'origine des particules peut être déterminée en analysant la composition isotopique du carbone (1).

Enfin, une fois repéré le mouvement des aérosols, il faut distinguer entre eux dans la mesure où les réactions qui se produisent modifient le revêtement de surface de ces particules et donc son efficacité d'absorbant optique qu'un revêtement épais peut diminuer, d'où **l'impossibilité de**

(1) L'analyse du rapport ¹³C/¹²C permet de reconnaître des aérosols d'origine marine de ceux d'origine continentale, tandis que l'activité ¹⁴C différencie le carbone ancien du carbone contemporain.

formuler une conclusion d'ensemble sur les effets de la présence de ces particules.

Contrairement aux gaz à effet de serre étudiés ci-dessus, **les aérosols de combustion ont un temps de résidence dans la troposphère très bref**, sept jours en moyenne, ce qui ne leur laisse pas le temps de passer d'un hémisphère à l'autre.

En revanche, **les aérosols résultant d'éruptions volcaniques puissantes** peuvent parvenir à la stratosphère et y résider **plusieurs mois, voire quelques années**, ayant alors des effets à l'échelle de la planète.

II. LE REFROIDISSEMENT DE LA TROPOSPHÈRE PAR LES AÉROSOLS

En théorie, **les aérosols provoquent un refroidissement de la troposphère soit par réfléchissement du rayonnement solaire (effet direct), soit en favorisant la réflectivité des groupes nuageux en y augmentant le nombre de gouttelettes d'eau (effet indirect).**

La mesure de ces deux effets est extrêmement délicate puisque l'influence des aérosols dépend de leur distribution dans l'espace, dans le temps et de leurs propriétés optiques qui, comme il a été indiqué ci-dessus, varient sans cesse. Comment, dès lors, procéder à des estimations en établissant des moyennes globales du rôle joué dans le réchauffement ou le refroidissement de la troposphère par les aérosols ?

La même difficulté apparaît pour l'effet indirect puisque la taille des gouttes n'agira pas de la même façon sur l'albédo des nuages. **De grandes incertitudes demeurent sur le lien entre la taille des gouttelettes d'un nuage et son effet réfléchissant.** De même quant à la formation des gouttelettes elles-mêmes.

Des calculs ont tenté d'établir les paramètres optiques des particules mais les observations expérimentales n'ont pas confirmé ces calculs de manière suffisamment probante. De ces difficultés résulte **l'impossibilité de modéliser l'impact radiatif indirect des aérosols de combustion en liaison avec la modification de la couverture nuageuse.** Il a été retenu que l'impact radiatif indirect des particules de combustion devait être égal à son impact radiatif direct mais il s'agit là d'une simplification.

Au total, même si l'effet de refroidissement des aérosols joue en sens inverse de l'effet de réchauffement des gaz à effet de serre, une estimation

précise de cet effet de refroidissement semble jusqu'à nouvel ordre vouée à l'échec. De plus, **même s'il était établi que l'effet refroidissement des aérosols était de même ampleur que l'effet de réchauffement des gaz à effet de serre, l'hétérogénéité spatiale de la présence d'aérosols, comme leur brève durée de vie, empêcherait de considérer que leur impact pourrait compenser de manière réelle le réchauffement induit par les gaz à effet de serre.**

En conclusion, il convient aussi de rappeler que tout au long de l'étude consacrée par l'Académie des Sciences au rôle spécifique des aérosols et de leurs effets sur le climat, l'Académie des Sciences a insisté sur les multiples incertitudes affectant encore ce champ d'investigation.

Dans le dernier rapport du **GIEC** paru en octobre 2001, l'importance des aérosols est rappelée en insistant non seulement sur **l'effet direct** de ceux-ci qui consiste à réfléchir et diffuser la lumière, donc à diminuer l'absorption de la chaleur du soleil (1), mais aussi sur **l'effet indirect** dans la mesure où les aérosols modifient la microphysique et donc les propriétés radiatives des nuages.

Il est rappelé que les aérosols peuvent avoir des sources naturelles ou anthropiques et que ceux-ci peuvent être dissipés rapidement grâce aux précipitations, souvent en moins d'une semaine. Le GIEC a insisté également sur le fait que **le pouvoir radiatif des aérosols** dépend non seulement de leur distribution dans l'espace mais aussi de leur taille et de la composition chimique des particules elles-mêmes. Comme toujours, le GIEC insiste aussi sur **les incertitudes** qui ne peuvent manquer d'être attachées aux estimations liées au forçage radiatif découlant des aérosols.

Le GIEC distingue **trois catégories d'aérosols d'origine anthropique**, les sulfates d'aérosols, ceux qui résultent de la combustion de la biomasse et les suies.

Il résulte de l'ensemble de ces éléments que l'étude de l'intensification de l'effet de serre doit inclure celle des aérosols mais que cette prise en compte indispensable apporte, dans un premier temps, encore davantage d'incertitudes.

(1) En revanche, pour **la suie**, l'effet direct est une absorption de la chaleur solaire.

CHAPITRE TROISIÈME : LE RÔLE DE L'HOMME DANS L'ÉMISSION DE GAZ A EFFET DE SERRE

La plupart des activités humaines se traduisent par l'émission de gaz à effet de serre qu'il s'agisse des **sources d'énergie fossile** utilisées pour celles-ci (charbon, pétrole, gaz naturel), de **l'agriculture**, de **l'élevage**, de **la sylviculture**, des **transports** ; même **l'habitat** de l'homme constitue une autre cause d'émission de gaz à effet de serre.

Le développement des sociétés industrialisées serait-il très largement fondé sur l'accroissement maximal des émissions de gaz à effet de serre ?

I. LE RECOURS MASSIF RECENT AUX COMBUSTIBLES FOSSILES

Le caractère récent de cet usage est apprécié par rapport aux durées climatiques. Le recours systématique au charbon, au pétrole puis au gaz depuis le début de la révolution industrielle, vers le milieu du XIX^{ème} siècle et les perspectives d'une accélération de ce phénomène intéressent prioritairement l'étude de l'intensification de l'effet de serre.

A. LE CHARBON

Le charbon résultant de très anciennes forêts fossilisées et décomposées, brûler celui-ci revient à libérer le carbone stocké dans le bois.

Les courbes d'utilisation du charbon montrent que celui-ci constitue **la base énergétique des sociétés modernes**, y compris celle des **Etats-Unis d'Amérique** encore aujourd'hui et qu'il sera le fondement du développement de la **Chine** comme de l'**Inde**.

Ce constat est particulièrement préoccupant car il fait douter de la possibilité de réduire les émissions de gaz à effet de serre dans des proportions appréciables. Il fait même craindre que les réductions d'émissions opérées ici ou là restent marginales par rapport à l'accroissement des émissions futures.

Le charbon reste une énergie dont l'usage croît même si sa part relative diminue.

En effet, **les besoins d'électricité sont en hausse** et celle-ci est majoritairement produite à partir de charbon ou de gaz.

De nouvelles demandes émanent aussi de pays comme le Brésil, la Chine ou l'Inde qui développent leur industrie sidérurgique ou cimentière.

En outre, **la Chine et les Etats-Unis d'Amérique ensemble consomment près de 55 % du charbon mondial** et l'importance de leurs réserves charbonnières laisse supposer un maintien, voire un accroissement de cette tendance.

Au niveau mondial, **les réserves de charbon représentent plus de deux siècles de consommation au rythme actuel.**

Un pays comme **l'Australie**, premier exportateur mondial de charbon, a de bonnes raisons de ne pas être en pointe dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Autant de facteurs qui ralentiront un moindre recours au charbon. Mais une évolution en ce sens est-elle même envisageable ?

Selon **le rapport 2001 du GIEC**, quatre familles de scénarios sont envisagées (A1, A2, B1 et B2) à l'horizon **2050**, leurs hypothèses de départ sont résumées dans le tableau suivant :

| | A1 | A2 | B1 | B2 |
|---|--------------|--------------|--------------------------------|--------------|
| Croissance démographique | lente | forte | maîtrisée | soutenue |
| Croissance économique | forte | ralentie | +de services +d'information | soutenue |
| Technologies nouvelles | rapide | ralentie | rapide | ralentie |
| Consommation mondiale d'énergie primaire | x 3,4 | x 2,5 | x 2 | x 2,1 |

Il résulte de tous ces scénarios que **la consommation mondiale d'énergie primaire serait multipliée au minimum par deux entre 2000 et 2050.**

D'après ces schémas d'évolution, lorsque la consommation de charbon n'augmente pas rapidement, notamment en Asie, ce sont celles de pétrole ou de gaz qui prennent le relais pour l'essentiel, ce qui maintient **dans**

tous les cas le recours massif aux combustibles fossiles et entraîne donc d'importantes émissions de gaz à effet de serre.

Si **des solutions technologiques** ont permis de réduire les émissions de gaz à effet de serre du charbon, leur efficacité demeure limitée à environ 20 % et exige des investissements très coûteux.

De plus, la fabrication de **combustibles liquides** à partir du charbon, ou du gaz, devrait entraîner des émissions supplémentaires de CO₂, ces techniques étant fortement consommatrices d'énergie.

B. LE PÉTROLE

Le recours massif au charbon fut complété plutôt que relayé par l'usage intensif des hydrocarbures (pétrole et gaz naturel).

L'histoire des cinquante dernières années est fortement marquée par la quête du pétrole et l'omniprésence de ses usages dans la société moderne.

La géopolitique comme la vie quotidienne ont été, pour ainsi dire, imprégnées de pétrole.

La sécurité de l'approvisionnement en pétrole, les voies terrestres ou navales de son acheminement, les multiples usages des matières plastiques, la pétrochimie sont devenues indissociables des sociétés industrialisées.

Provenant comme le charbon, de la décomposition de forêts, donc de carbone, **le pétrole brûlé dégage du gaz carbonique et renforce l'effet de serre.**

Pourtant, **le recours au pétrole n'est pas prêt d'être abandonné, ni même réduit.**

Toutes les études s'accordent sur le fait que la croissance de la demande future de pétrole viendra principalement des pays en développement du Sud-Est asiatique et du secteur des transports.

Quant aux réserves de pétrole (prouvées, probables, possibles), il semble que **les réserves prouvées** (1) atteignent 1.000 milliards de barils, soit 138 milliards de tonnes, c'est-à-dire **quarante à quarante-cinq ans de production** au rythme actuel ; les deux-tiers de ces réserves étant situées au Moyen-Orient.

Toutefois, de nombreux exemples passés montrent que les réserves pétrolières prouvées ont généralement été sous-estimées.

(1) *Hydrocarbures récupérables aux conditions économiques et techniques du moment.*

A l'inverse de ce qui a été observé ci-dessus pour le charbon (scénarios B1 et B2), **aucun scénario du GIEC ne prévoit de baisse de la consommation de pétrole à l'horizon 2050.**

C. LE GAZ NATUREL

Sa part a rapidement augmenté dans l'économie mondiale. **Il dégage du méthane (1), du dioxyde de carbone et de l'oxyde d'azote.**

Comme pour le pétrole, il s'agit davantage de limiter son essor que d'organiser la régression du recours à cette source d'énergie devenue indispensable.

Le gaz naturel ne contenant ni soufre, ni azote, ni métaux lourds, il présente des avantages en matière de pollution.

Il a été estimé que **le remplacement du charbon par le gaz permet une réduction de 40 % du dioxyde de carbone émis et de 25 % lorsqu'il remplace le pétrole.**

Tous les scénarios pour 2050 rassemblés par le GIEC considèrent que le recours au gaz naturel sera accru et massif.

D. L'ÉLECTRICITÉ ISSUE DE COMBUSTIBLES FOSSILES

39 % de l'électricité mondiale est produite à partir du charbon et 9 % à partir du pétrole.

Selon les pays, la production électrique émane surtout du charbon (Chine : 75 %, Allemagne : 55 %, Etats-Unis d'Amérique : 53 %) ou surtout du pétrole (Italie : 49 %), ou encore du nucléaire (France : 75 %).

Le remplacement des centrales thermiques classiques par **des centrales à turbine à cycle combiné** (turbine à gaz et turbine à vapeur) permet de bien meilleurs rendements pour des coûts de construction nettement inférieurs à ceux des centrales thermiques classiques mais le rythme de ce remplacement dépend directement de l'âge des parcs de centrales thermiques en fonction.

A cet égard, **l'Europe** ne devrait pas disposer de centrales à cycle combiné avant plusieurs décennies, son parc étant constitué de nombreuses

(1) Du fait des fuites lors de l'exploitation du gaz naturel. Ces fuites sont estimées entre 25 et 50 millions de tonnes par an.

centrales récentes lesquelles dégagent, en outre, des capacités de production excédentaires.

De leur côté, **les Etats-Unis d'Amérique** possèdent à la fois beaucoup de centrales nucléaires et de centrales conventionnelles dont la fin de vie théorique se situe entre 2000 et 2020, ce qui apparaît idéal pour un renouvellement qui semble, d'ailleurs, pour l'instant, écarter totalement l'option nucléaire.

Cependant, face aux centrales à gaz, **les centrales à charbon** continuent d'occuper une place importante (réserves abondantes de minerai à un prix peu élevé, face à des gisements de gaz naturels assez localisés).

De nouvelles techniques permettent de limiter les émissions de ces centrales (centrales à charbon pulvérisé émettant moins de soufre mais davantage de gaz carbonique et ce pour un coût élevé ; chaudières à lit fluidisé ; centrales à charbon gazéifié).

Enfin, il résulte de l'ensemble des évolutions actuelles qu' **à l'horizon 2020-2030**, il faudra avoir construit autant de centrales électriques qu'il en existe aujourd'hui. Beaucoup de ces futures centrales fonctionneront au charbon ainsi que l'ont précisé M. Bernard MECLOT et M. Jean-Yves CANEIL, EDF ☞.

II. L'ÉMISSION DE GAZ À EFFET DE SERRE PAR LES ACTIVITÉS TRADITIONNELLES

A. L'AGRICULTURE

L'agriculture dégage principalement deux gaz à effet de serre : **le méthane (CH₄)** et **le protoxyde d'azote (N₂O)** ou oxyde nitreux.

Parallèlement, les sols emmagasinent du carbone.

1. Les émissions de protoxyde d'azote à l'échelle agronomique

Comme il a été indiqué plus haut, le N₂O ou protoxyde d'azote est un gaz de l'atmosphère mille fois moins concentré que le gaz carbonique, mais ayant un coefficient radiatif 200 fois plus fort et responsable à ce titre d'environ 5 % du forçage radiatif, c'est-à-dire de l'intensification de l'effet de serre.

Au cours des deux derniers siècles, la concentration de l'atmosphère en protoxyde d'azote est passée de 275 à 312 ppbv (1), l'essentiel de cette progression étant intervenu au cours des cinquante dernières années. Or, il a été estimé que sa durée de vie dans l'atmosphère devait être de l'ordre de 120 ans. Cependant, comme ce gaz s'élimine par photodissociation sous l'effet du rayonnement solaire dans la stratosphère, le protoxyde d'azote contribue à la décomposition de la couche d'ozone.

Malgré les efforts de quantification entamés, il convient dès à présent de souligner que les estimations demeurent assez imprécises, mais qu'elles conduisent à penser que **près de 65 % des émissions de protoxyde d'azote proviennent du sol, dont un tiers des sols cultivés.**

Les connaissances sur ce sujet sont, pour une partie d'entre elles, très récentes. En effet, **la production de N₂O dans les sols est probablement due à plusieurs transformations du cycle de l'azote, et non à une seule.** La dénitrification (2) a été longtemps considérée comme le principal mécanisme producteur de N₂O, mais il a été démontré dans les années 1980 que la production de N₂O pouvait également être le fait de la nitrification (3). En outre, la production de N₂O peut encore résulter de l'action des microflores.

Au-delà des mécanismes mêmes de production du N₂O, une difficulté de mesure provient de **la très grande variabilité spatiale et temporelle des émissions de ce gaz.** En effet, celle-ci résulte à la fois des caractéristiques des sols et des fluctuations climatiques. Beaucoup de mesures ont été effectuées ayant recours à des méthodes diverses (enceintes fermées de quelques décimètres cubes placées à la surface du sol et dans lesquelles des prélèvements de gaz étalés sur environ une heure sont effectués puis analysés ou méthodes micrométéorologiques fonctionnant en continu et intégrant des fluctuations moyennes sur des surfaces de l'ordre d'un hectare).

Mais, même si des expérimentations comparatives ont été menées en France entre ces deux méthodes de mesures qui semblent converger dans leurs résultats, il n'en demeure pas moins que **les données quantitatives sur les émissions de protoxyde d'azote sont considérées comme encore peu nombreuses et établies sur des durées trop courtes.** C'est pourquoi, avant de donner des ordres de grandeur et de présenter des hypothèses sur les effets de ces émissions, il faut insister sur l'insuffisance des données expérimentales et la faible pertinence des modèles de prévision des émissions.

Il faut également souligner que **les émissions de protoxyde d'azote sont très influencées par les apports de fertilisants azotés,** et qu'elles sont importantes au cours des jours qui suivent les apports.

(1) Parties par milliard en volume

(2) Décomposition, par une action bactérienne, des nitrates du sol et des eaux

(3) Transformation, sous l'action des bactéries, de l'azote ammoniacal en nitrates.

De plus, **elles dépendent étroitement du fonctionnement des sols**, résultant pour l'essentiel du fonctionnement hydrique et de la capacité des sols à réduire leur protoxyde d'azote. De plus, le pH(1) acide est considéré comme un élément favorable à la libération de N₂O. Ces considérations sont importantes, car il a été constaté que **les propriétés liées au sol avaient un impact plus marqué sur l'intensité des émissions que les paramètres climatiques ou les pratiques agricoles**. Ainsi, les sols organiques comme les tourbières dégagent des quantités de N₂O beaucoup plus importantes que les autres sols lorsqu'ils sont mis en cultures ou en prairies.

Au-delà des sols, **la végétation joue aussi un rôle sur l'émission de N₂O** à travers son impact sur la disponibilité en azote minéral. C'est en particulier le cas pour les prairies, les émissions les plus fortes étant observées dans les sols de celles-ci.

2. Le stockage de carbone par les sols français

Le stockage net de carbone dans les sols résulte d'une part de l'incorporation dans le sol du **carbone atmosphérique** fixé par la végétation, et d'autre part de la minéralisation du **carbone organique** du sol par les micro-organismes.

Le stockage de carbone dans les sols résulte de deux causes : l'action directe de l'homme sur la végétation et le sol, et les variations spontanées du milieu –où l'homme n'est pas absent non plus à travers les conséquences de son action, par exemple sur la composition de l'atmosphère.

Les études menées en ce domaine ont montré que les racines constituaient la principale source de carbone des sols, que l'agriculture intensive restituait plus de carbone au sol que des systèmes forestiers ou de prairies, et que **le travail réduit du sol et la continuité des prairies constituaient des pratiques aptes à maintenir des stocks de carbone élevés dans les sols**.

Pour la France, **les changements d'usage des terres** au cours des cent cinquante dernières années et leur influence sur le stockage net de carbone ont été étudiés. Un tableau des superficies des grandes classes d'usage des terres en France depuis 1850 permet de resituer le débat (2).

(1) *Potentiel hydrogène caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu.*

(2) *Cette étude a été menée par Jérôme BALESDENT, du laboratoire d'écologie microbienne de la rhizosphère DEVM/CEA, et Dominique ARROUAYS, service d'étude des sols et de la carte pédologique de France, INRA, UE sciences du sol.C.R.A4.AGRI.FR.1999, 85, n°6, pp. 265-277. séance du 19 mai 1999.*

**Paramètres de la dynamique du carbone propre à chaque usage du sol,
utilisés pour l'estimation du flux national de carbone des sols.**

Superficies totales en 1995

Superficies des grandes classes d'usages des terres en France depuis 1850

Il apparaît clairement que **l'augmentation de la température tend à déstocker le carbone en augmentant les vitesses de biodégradation des matières organiques.**

De plus, l'étude citée a montré, de 1900 à 1999, les grands traits des changements intervenus : d'abord un stockage accru (abandon de la jachère traditionnelle, abandon des terres cultivées au profit des prairies puis de forêts) puis, après 1972, une augmentation des superficies à faible stockage (cultures annuelles, jachères et sols artificialisés) aux dépens des prairies. Puis, de 1992 à 1995, la jachère nue imposée par le changement de politique agricole commune a provoqué un déstockage net, cette jachère nue ayant été abandonnée après 1995. Il a été estimé que **l'effet de l'augmentation de la température aurait conduit à un déstockage total de 140 millions de tonnes de carbone entre 1900 et 1998.**

Cependant, il apparaît que **l'estimation historique de l'usage des terres n'est pas évidente à établir** du fait de la divergence des sources et de la difficulté de classer les surfaces.

Pour **la France**, les surfaces cultivables en 1960 ne sont pas connues avec précision. De même, il est probable que l'estimation des surfaces boisées au XIX^{ème} siècle est assez largement erronée. De plus, ont été négligés l'assainissement et l'implantation de la forêt landaise vers 1850. Son effet sur le stock de carbone, par rapport à la végétation préexistante, étant inconnu.

C'est pourquoi les auteurs précités émettent les plus vives réserves sur l'hypothèse centrale de leur étude, à savoir la constance des paramètres depuis 1850. Ils signalent par exemple, à cet égard, que les rendements de la production de blé ont été multipliés par six de 1850 à 1990. Enfin, ils insistent sur le fait que les données manquent sur l'influence des progrès de la sylviculture sur les rendements forestiers. Ils estiment, en conclusion de leur étude, que **les sols français auraient stocké jusqu'à 4 tonnes de carbone par hectare et par an jusqu'en 1980, le flux se réduisant à 0,03 tonne de carbone par hectare et par an, de 1980 à 1990** et qu'il serait envisageable d'amener le stockage jusqu'à 0,06 tonne de carbone par hectare et par an au cours des prochaines décennies, ce qui permettrait de compenser jusqu'à 3% de la consommation nationale de combustible fossile actuel.

Votre Rapporteur relève qu'au-delà du grand intérêt de telles études, **les incertitudes** qu'elles ne manquent pas de souligner **rendent très aléatoire la possibilité d'établir des inventaires d'utilisation des sols à l'échelle mondiale et donc difficile le contrôle nécessité par l'application du protocole de Kyoto.**

Par ailleurs, il relève que **certaines évolutions de la politique agricole européenne ont eu pour effet d'augmenter les émissions de gaz à effet de serre.** C'est ainsi que l'intensification de la production laitière, de la

production de viande bovine, des productions hors-sol, comme le stockage important des lisiers ou l'utilisation des engrais azotés peuvent être retenus comme des évolutions négatives.

En effet, **les nitrates** provenant des engrais de synthèse émettent du N₂O.

Or, après un tassement au début des années 1990, les ventes **d'engrais azotés** ont connu une nouvelle et forte croissance.

B. L'ÉLEVAGE

Il s'agit de limiter les émissions de CH₄ et de N₂O résultant des déjections animales des élevages intensifs -qui risquent d'atteindre 3,3 millions de tonnes de CO₂ par an en 2010.

Parmi les évolutions à noter, **l'accroissement du cheptel porcin** est particulièrement évidente ; en vingt ans, de 1980 à 1999, elle a atteint 38 %.

L'azote contenu dans les effluents d'élevage entraîne une émission de N₂O.

Pour l'instant, s'il n'existe pas de procédé technique propre à réduire les émissions de CH₄ liées à la fermentation entérique des ruminants, les émissions de CH₄ et de N₂O provenant des déjections annuelles des élevages intensifs peuvent être limitées et sont l'objet de recherches actives. Il s'agit, par exemple, de l'amélioration de la gestion de la fertilisation azotée grâce à une meilleure connaissance des déterminants des émissions de N₂O des sols.

C. LA SYLVICULTURE

Dans la lutte contre l'intensification de l'effet de serre, la fixation du carbone par les forêts joue un rôle essentiel. Tel est naturellement le cas, en particulier, pour **la forêt française** qui, bien exploitée, est peut-être mieux à même que d'autres de participer à cette fixation du carbone.

Votre Rapporteur tient à insister sur cet aspect pour deux raisons : il lui semble que **l'atout représenté par la forêt française n'a pas été assez mis en évidence lors des négociations internationales sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre** et, ce, alors que **la forêt française, particulièrement bien exploitée, devrait être davantage valorisée.**

Dans un rapport au Premier ministre élaboré en 1998 et intitulé « *La forêt : une chance pour la France* » (1), M. Jean-Louis BIANCO a montré que **le secteur économique de la forêt devrait être considéré comme prioritaire**, non seulement pour le rôle crucial qu'il joue dans l'équilibre et l'aménagement du territoire (préservation de la ressource en eau, protection des sols contre l'érosion, maintien de la biodiversité, prévention des risques naturels, préservation des paysages, accueil du public, développement local...), mais aussi parce que ce secteur, déjà riche de 500.000 emplois, représente encore un potentiel d'emplois élevé et très favorable en terme d'emploi supplémentaire par franc investi.

1. L'importance des forêts

Avant d'évoquer les conclusions mêmes de ce rapport, il convient de rappeler que, contrairement à une idée répandue, **la superficie de la forêt française n'a pas reculé au XX^{ème} siècle**. En effet, à l'inverse de ce qui s'est produit dans la plupart des pays d'Europe entre 1830 et 1880, la superficie forestière française a repris sa croissance au cours du XIX^{ème} siècle, marqué par l'adoption du code forestier en 1827 et par le reboisement initié par Napoléon III. En deux siècles, la surface de la forêt française a pratiquement doublé. Elle représente aujourd'hui 15 millions d'hectares, soit 27 % du territoire national, 13,7 % de la forêt de l'Europe des Quinze et 0,5 % de la forêt mondiale. Dans le passé, la forêt française a occupé environ 40 millions d'hectares à l'époque gallo-romaine, 23 millions d'hectares au milieu du XIII^{ème} siècle et 8 millions d'hectares au début du XIX^{ème} siècle.

Au cours des années 1980, **le débat international sur la gestion durable a mis au premier plan l'intérêt de la conservation des forêts** ; les plus grands forums internationaux s'y sont intéressés, qu'il s'agisse de la convention mondiale sur la biodiversité, de celle sur les changements climatiques ou des conférences ministérielles sur la forêt en Europe. Plus récemment, la mise en œuvre de la directive communautaire « Habitats » (réseau Natura 2000) a fait prendre conscience que **la politique communautaire de l'environnement s'applique aussi au territoire forestier**.

Il s'agit donc pour la politique forestière actuelle de prendre en compte deux contraintes peut-être contradictoires : d'une part, celle de l'écologie, qui impose une vision planétaire, d'autre part, celle de l'économie, dont la globalisation est intervenue. Ainsi, le domaine de la filière bois peut être soumis à des exigences contradictoires. En effet, une bonne gestion des forêts suppose l'exploitation de celles-ci qui, à son tour, exige la possibilité de renouveler cette richesse.

(1) *Collection des rapports officiels. La documentation Française 1998. 141 pages.*

Quelle est donc l'importance de la ressource en bois ?

Par rapport à la surface du globe, **les forêts occupent 3,4 milliards d'hectares, soit 26 % des continents**; la Russie, le Canada et les Etats-Unis d'Amérique en représentant à eux seuls la moitié. Depuis 1980, la surface boisée a diminué de 135 millions d'hectares⁽¹⁾, notamment en raison de la déforestation en zone tropicale que la progression de la forêt en zone tempérée ne parvient pas à compenser.

Sur l'ensemble de la planète **plus de la moitié de la production est destinée au bois de chauffage**. Quant à la répartition de ces forêts sur l'ensemble du globe, près de la moitié de celles-ci sont situées en zone boréale (Amérique du Nord, ex-URSS), 40 % en zone tropicale et 5 % en Europe. Il est envisagé que la consommation de bois augmente d'environ 2 à 2,5 % par an d'ici à **2010**. Quant à la consommation par habitant dans chaque pays, elle ne représente en Europe que la moitié de la consommation américaine ou de celle des pays nordiques.

Sur le **marché mondial du bois**, la France est le dixième producteur mondial et le cinquième exportateur de bois brut derrière les Etats-Unis d'Amérique, la Russie, la Malaisie et l'Australie.

Dans **l'utilisation du bois**, l'ameublement et l'emballage absorbent plus de la moitié des sciages feuillus en France, tandis que le secteur du bâtiment représente 50 % des débouchés des sciages résineux.

Quant à la **construction**, le rôle du bois sera évoqué plus loin dans un développement relatif à l'habitat et aux gaz à effet de serre.

Après avoir envisagé le bois comme matériau de construction ou matériau de chauffage, il est essentiel de resituer ces deux utilisations dans **une gestion durable de la forêt**. La définition même d'un tel concept a donné lieu à de nombreux débats. D'une manière très simplifiée, il est aujourd'hui admis qu'il s'agit de gérer et d'utiliser les forêts de manière à maintenir leur diversité biologique, leur productivité, leurs capacités de régénération, leur vitalité et leur capacité à satisfaire actuellement et pour le futur les fonctions écologiques, économiques et sociales pertinentes au niveau local, national et mondial. Il s'agit aussi de s'assurer que des préjudices ne sont pas portés par la forêt aux autres écosystèmes.

La diversité biologique comprend donc la variété des essences forestières, même si elle est plus vaste que cette notion. Actuellement, sur ce plan, **la situation de la forêt française apparaît assez satisfaisante** ; en effet, elle possède des peuplements mélangés sur plus de 70 % de sa surface et des peuplements comprenant au moins quatre essences sur plus de 20 % de celle-ci, ce qui est supérieur à la situation de bien d'autres pays européens.

(1) Soit neuf fois la superficie de la forêt française.

Cette diversité des essences pourrait constituer un atout face aux impacts des changements climatiques.

En application des engagements pris à Helsinki en 1993 à l'occasion de la deuxième conférence ministérielle pour la protection des forêts en Europe, la France a publié, en 1994, **un plan national de mise en œuvre de la déclaration des principes forestiers** intitulé « *La gestion durable des forêts françaises* », puis, en 1995, elle a publié « *Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises* ». Ces divers plans ont insisté sur la nécessité d'utiliser les espèces les mieux adaptées à un milieu, tout en étant très attentif à l'évolution de la fertilité minérale des sols à long terme, ce qui peut supposer de les enrichir.

Au-delà des essences, **le rôle des forêts dans le cycle de l'eau est essentiel** car la couverture forestière est le mode d'occupation des sols qui assure le meilleur impact sur la qualité des eaux. Cela est d'autant plus vrai au moment où les prairies et les haies reculent – même si ce mouvement s'est ralenti-, où les zones humides se dégradent et où l'irrigation et le drainage se développent(1).

Par ailleurs, **le rôle des forêts dans la protection des sols et la lutte contre l'érosion** est largement attesté par les catastrophes naturelles survenant fréquemment après la disparition du manteau forestier : coulées de boues, avalanches... Enfin, **la forêt recueille des poussières en suspension** et joue par là même le rôle d'un piège à particules épurant l'air ambiant. Cela a joué notamment lors de l'accident de Tchernobyl.

2. Le bilan carbone des forêts

Là encore, un état des lieux des bilans de carbone s'impose. Contrairement à ce qui vient d'abord à l'esprit, la seule possibilité de stockage de carbone dans les forêts ne réside pas dans la biomasse végétale, mais également dans la matière organique du sol.

Depuis 1996, dans le cadre du projet européen « *Euroflux* » et avec le soutien du programme « *Agriges* », deux écosystèmes forestiers tempérés français sont étudiés : une hêtraie en Moselle et une pinède atlantique en Gironde. Seize autres sites, situés dans le nord de l'Europe, la France et l'Italie complètent cette étude.

Sans décrire les techniques de mesure du flux net de carbone et les mesures des composants du flux, non plus que l'estimation des stocks de

(1) D'après le rapport BIANCO, 3 millions d'hectares de prairies et plus de 500.000 hectares de haies ont disparu entre 1960 et 1994, 84 % des zones humides ont été dégradées, 30.000 hectares de plus sont irrigués et 50.000 drainés chaque année.

biomasse, il a été observé sur les dix-huit sites opérationnels que **la plus forte immobilisation de carbone était observée sur deux sites recevant les plus fortes précipitations annuelles** (un couvert de hêtres de 90 ans de moyenne montagne en Italie, une plantation de jeunes épicéas de sitka en Ecosse). A l'inverse, une émission nette de CO₂ a été observée au-dessus d'un peuplement mélangé de conifères en Suède, d'âge équivalent (100 ans). Mais là, la pluviométrie était très faible.

Ce simple aperçu met en évidence **la forte variabilité du bilan de carbone des forêts européennes. Le bilan de carbone est en effet très sensible à la température, et un léger changement des conditions climatiques peut suffire à en inverser le résultat. Mais, en forêt tempérée le bilan global de carbone constitue toujours une séquestration de celui-ci. En forêt boréale, les flux d'assimilation et de respiration s'équilibrent.**

Il suffit de retenir que le flux net de carbone d'un écosystème forestier résulte de la somme de deux termes de signes opposés. D'une part la production brute, et d'autre part la respiration (autotrophe et hétérotrophe). Ces distinctions sont utiles dans la mesure où ces composantes n'ont pas la même sensibilité climatique et biologique, ce qui explique les fortes variations interannuelles observées sur les six sites étudiés, et également la forte variabilité spatiale en fonction de la pluviométrie annuelle. De plus, **il n'existe pas de relation directe univoque entre la reproduction ligneuse et le bilan de carbone d'une forêt** puisque, au-delà du feuillage, le sol et le sous-bois jouent un rôle important.

*

Dans le cadre du suivi précis de l'évolution des forêts pour **l'application du protocole de Kyoto**, il serait utile de mettre en place une procédure de **certification des forêts**, de la **traçabilité du bois issu de forêts certifiées** et enfin de la **labellisation des produits finis**. Cette certification pourrait intervenir à travers une approche européenne que l'importance des forêts d'Europe justifie particulièrement. Cela ne remettrait pas en cause le rôle important et reconnu des divers Etats qui ont joué un rôle positif pour la gestion durable des forêts, bien avant qu'il soit question de gestion ou de développement durable, ni les divers modes de gestion de la forêt qui sont favorables à la biodiversité, ni la nécessaire reconnaissance de la multifonctionnalité des forêts.

Le rapport BIANCO a relevé qu'une vision de la gestion durable supposait **la motivation démocratique de tous les acteurs et la certification d'un type de gestion** davantage que d'un type de produit. Cette nouvelle approche englobe aussi une **solidarité financière nord-sud**, encore loin d'être acquise, et devant éviter toute mise en accusation des pays du Tiers-monde.

Dans ce contexte, il pourrait être souhaité **une présence plus forte de l'administration française dans les négociations internationales sur la forêt**, d'autant que **les dernières négociations de Bonn ou de Marrakech n'ont pas montré d'avancées européennes substantielles de l'Europe sur cet aspect**, alors que de nombreux atouts seraient à faire valoir et que d'autres pays ont marqué des points à partir de situations moins avantageuses.

Enfin, une mention particulière doit être faite de **la forêt d'outre-mer**. Elle couvre plus de 7,7 millions d'hectares, comprend pour l'essentiel la forêt tropicale humide située en **Guyane**, où la forêt occupe plus de 90 % du territoire et compte, par exemple, plus de mille espèces ligneuses, soit dix fois plus qu'en métropole. La Guyane est d'ailleurs devenue un pôle européen de recherche sur la forêt tropicale et son aménagement forestier.

*

Au terme de ce rapide survol et à la lumière des auditions auxquelles il a procédé, votre Rapporteur ne peut que s'associer à l'analyse et aux conclusions du rapport BIANCO qui préconisent **la mise en œuvre d'une véritable stratégie forestière française à dix ans**.

Les principaux axes retenus consistant à améliorer la productivité de tous les maillons de la filière, certifier la gestion durable des forêts, élaborer un plan bois-matériau, développer l'usage du bois comme source d'énergie sont d'autant plus indispensables que **c'est seulement une forêt bien exploitée qui peut contribuer à la diminution de l'effet de serre additionnel**. C'est grâce à une parfaite connaissance de sa forêt et des moyens de mieux la mettre en valeur que la France pourra faire valoir, mieux qu'elle ne l'a fait jusqu'alors, les atouts que constitue pour elle une exploitation optimale de sa forêt.

Cette politique peut trouver son prolongement naturel à l'échelon européen en permettant de mettre en œuvre une stratégie forestière commune, comme cela avait été proposé par le Parlement à la Commission en 1997.

Votre Rapporteur note que **la gestion durable de la forêt est un domaine où les échéances et le rythme d'action sont particulièrement en harmonie avec ceux de la lutte contre l'intensification de l'effet de serre**. En effet, s'il faut environ 120 ans pour qu'une molécule de carbone libérée aujourd'hui dans l'atmosphère disparaisse, il faut également environ 120 ans pour faire un hêtre mais, dans les deux cas, il suffit de quelques minutes pour libérer une molécule de carbone ou encore abattre un arbre.

C'est pourquoi votre Rapporteur insiste à nouveau sur la chance que constitue pour la gestion durable de l'environnement l'existence d'une forêt française bien exploitée et la nécessité de relancer certaines politiques liées à

l'exploitation de la forêt en prenant conscience de leur particulière adaptation aux impératifs de la lutte contre l'intensification de l'effet de serre.

D. LES ÉMISSIONS DE MÉTHANE PAR LES DÉCHARGES DE DÉCHETS MÉNAGERS

Des évaluations ont été réalisées à partir des inventaires établis par l'ADEME de 1979 à 1997 pour évaluer des quantités de déchets et leurs effets à l'**horizon 2010**. Ces évaluations prennent en compte les déchets enfouis depuis 1980.

Il faut d'abord noter qu'existent **deux types de décharges, compactées ou non compactées**, et que les décharges non compactées ne produisent pas de biogaz de manière significative. Mais le nombre de **décharges compactées** représentait 40 % du tonnage entre 1980 et 1985, 55 % entre 1985 et 1990, 72 % entre 1990 et 1993, et 87 % après 1993 pour atteindre **presque 100 % en 1999**.

La réglementation sur décharges contrôlées résultant de la circulaire de mars 1987 a encouragé **la mise en place de réseaux de captage et de brûlage des biogaz** (1). Là aussi, la progression des tonnages concernés par les équipements a été assez rapide (10 % en 1993, 25 % en 1996 et 57 % en 1997). Au début de l'année 2000, ces tonnages devaient avoisiner 100 %. Or les rendements des installations qui jusqu'en 1999 étaient de 60 % atteignent maintenant environ 80 %.

A partir de ces données, et dans le cadre de la Mission interministérielle de l'effet de serre, une simulation a été établie sur trois scénarios, concernant respectivement les années 2002, **2010** (hypothèse basse) et 2010 (hypothèse haute)(2) en supposant que les déchets ménagers et assimilés produisent du biogaz de façon significative pendant 30 ans en distinguant à chaque fois la dégradation constante (soit une dégradation de 50 % du carbone organique sur 15 ans) de la dégradation progressive (soit une dégradation de 50 % de carbone organique sur un an pour les déchets très biodégradables, sur 5 ans pour ceux facilement biodégradables et sur 15 ans pour les déchets moyennement biodégradables).

(1) Voir sur ce sujet le rapport sur «*Les nouvelles techniques de recyclage et de revalorisation des déchets ménagers et des déchets industriels banals* » de M. Gérard MIQUEL, sénateur, et de M. Serge POIGNANT, député – Assemblée nationale n° 1693 (11^{ème} législature), Sénat n° 415 (1998-1999).

(2) Le résultat de ces travaux a été communiqué par M. Eric PRUDHOMME, de l'ADEME, sous le titre «*Évaluation des émissions de méthane des décharges de déchets ménagers et assimilés* » lors du colloque «*Bilan et gestion des gaz à effet de serre dans l'espace rural* » tenu à Paris les 18 et 19 mai 1999.

Il a pu être estimé, à la lumière de ces simulations, que **les résultats variaient dans de faibles proportions entre le scénario le plus optimiste et le plus pessimiste (plus ou moins 16 %)**. En revanche, les plages de variation plus importantes apparaissent selon les hypothèses sur la nature constante ou progressive de la dégradation. Il a été surtout noté que **la mise en place du réseau de captage permettait de diminuer les émissions de près de 70 %**, et encore que les 30 % restants provenaient de décharges pas ou mal équipées avant l'an 2000.

De plus, **la valorisation du biogaz de décharge en France ne pose pas de problèmes techniques** mais son véritable essor dépend du prix de rachat de l'énergie. Les questions de rentabilité des installations se posent à travers le potentiel valorisable, la qualité du gaz produit, le type d'énergie fabriqué et la puissance installée. **D'autres pays européens, comme l'Angleterre ou l'Italie, pratiquent depuis longtemps ce genre de valorisation.**

III. L'INDUSTRIE ET LES GAZ À EFFET DE SERRE

Pendant des années, l'industrie a été considérée comme le secteur principal d'émission de gaz à effet de serre. Cela n'est vrai que si le secteur de l'énergie y est incorporé. De plus, l'industrie a opéré des efforts considérables de réduction de ses émissions.

En revanche, actuellement, ce sont les transports qui apparaissent comme le secteur le plus émetteur de gaz à effet de serre – ce qui n'est peut-être pas tout à fait exact si les transports de livraison des produits industriels, de même que les trajets domicile-travail des personnels sont ré-incorporés aux émissions de l'industrie.

A. LES ÉMISSIONS MASSIVES DE L'INDUSTRIE

Dans le secteur de l'industrie, les évolutions d'émissions de gaz à effet de serre sont à la fois importantes et très contrastées.

Elles proviennent pour l'essentiel de la production des **matériaux de base** (acier, verre, plastique...).

Entre 1990 et 1998, l'industrie –hors énergie- a réduit de 10 % ses émissions de gaz à effet de serre, tout en augmentant de 16 % sa valeur ajoutée.

Mais, tandis que l'industrie automobile réduisait ses émissions de 17 % et augmentait sa valeur ajoutée de 41 %, d'autres secteurs accroissaient leurs émissions.

Pour garder en mémoire un ordre de grandeur, il est considéré qu'**un produit manufacturé entraîne l'émission d'une ou deux fois son poids en émissions de gaz à effet de serre.**

En fait, **au niveau mondial**, la répartition des émissions de CO₂ fossile par nature d'activité était la suivante en 1995 :

- 35 % : production et distribution d'énergie ;
- **30 % : industrie ;**
- 20 % : transports ;
- 15 % : résidentiel et tertiaire

(source : Observatoire de l'énergie)

Pour **la France**, cette répartition est :

- 27 % : transport routier ;
- 23 % : résidentiel et tertiaire ;
- **22 % : industrie manufacturière ;**
- 15 % : transformation d'énergie ;
- 11 % : agriculture, sylviculture ;
- 2 % : autres transports

(source : CITEPA)

B. LES POSSIBILITÉS DE CONTRÔLE DES ÉMISSIONS INDUSTRIELLES

Des engagements volontaires de réduction des émissions de gaz à effet de serre ont été souscrits par les industriels au cours des dernières années.

Par rapport à 1990, les objectifs suivants ont été fixés dès 1996 ou 1997 pour 2000 ou 2005 :

- - 5 % de CO₂ (Chambre syndicale nationale des fabricants de chaux grasses et magnésiennes) ;
- - 10 % de CO₂ (Fédération française de l'acier, Chambre syndicale des verreries mécaniques de France) ;
- - 19 % de CO₂ (Péchiney) ;
- - 25 % de CO₂ résultant de sa consommation énergétique (Syndicat français de l'industrie cimentière) soit - 10 % par tonne de ciment fabriqué.

Compte tenu des objectifs fixés à la France pour 2010, le caractère limité de tels accords et la difficulté de contrôler leur application fait douter de l'efficacité d'une telle voie d'action.

Plus convaincantes, sont les mesures de **maîtrise des émissions de protoxyde d'azote (N₂O)** dans l'industrie chimique, prises à la suite de nouvelles réglementations (loi sur l'air, loi relative aux installations classées, directive européenne IPPC de 1996, arrêtés ministériels, TGAP).

En effet, l'impact des émissions de N₂O a été ramené de 28 MteCO₂ en 1990 à 11 MteCO₂ en 1999, soit **une réduction de 61 %** ; 4,3 MteCO₂ devraient être atteints en 2010 et, ce, pour un coût très faible par tonne d'équivalent CO₂ évité.

IV. LES TRANSPORTS ET LES GAZ À EFFET DE SERRE

Ce secteur apparaît aujourd'hui comme **le premier émetteur de gaz à effet de serre en France.**

Cependant, ses diverses composantes sont très inégalement responsables de cet état de fait.

La croissance des transports semble constituer une composante essentielle des sociétés actuelles. En France, **les transports de voyageurs ont augmenté de 18 % en six ans.**

Dans l'ensemble des transports, **les transports collectifs** ne représentent encore que 16 % en 2000 malgré une progression constante - mais modeste, soit 20 % - de 1985 à 2000.

Sur cette même durée, **l'évolution du trafic de voyageurs a augmenté de 44 % pour les véhicules particuliers et de 112 % pour les transports aériens intérieurs.**

La part des véhicules particuliers dans l'ensemble des transports atteint 84 % du total.


Quant aux **transports de marchandises**, leur volume a augmenté de 25 % en dix ans. Au sein de cette activité, **le transport routier représente 69 % du total** –avec 35 % d'augmentation en dix ans. Sans intervention, **le doublement des marchandises transportées par la route pourrait être constaté vers 2020.**

En 1999, 39 % de camions supplémentaires, par rapport à 1992-1993, ont traversé la France.

Le tonnage transporté par le rail n'atteint que le quart de celui de la route. Surtout, de 1985 à 2000, le tonnage ferroviaire n'a augmenté que de 2 %, quand le tonnage routier a progressé de 81 %.

Face à cette évolution, il conviendrait de réduire la distance du trajet domicile-travail pour des raisons évidentes de diminution de l'énergie consommée par les transports liés à ce type de déplacement, mais c'est le contraire qui est observé.

Ainsi, le lieu de travail des actifs était situé en moyenne à 15,1 km de leur domicile en 1999, contre 14,1 km en 1990 et 13,1 km en 1982. Dans la couronne périurbaine de Paris, où se situe le nombre le plus élevé d'actifs, les trajets effectués sont supérieurs à la moyenne nationale.

En réaction face à cela, M. Jean-Louis GUIGOU, Délégué à l'aménagement du territoire, DATAR , souligne les avantages de la division du travail par région.


Si la route, qui comprend les véhicules automobiles individuels et les poids lourds est reconnue comme un secteur très fortement émetteur de gaz à effet de serre, le rail n'a pas seulement recours à l'électricité. Quant au transport aérien, son fort impact reste encore mal évalué. Enfin, le transport maritime ou fluvial a probablement des atouts à jouer.

A. LA ROUTE

Le transport par la route recouvre le transport de voyageurs et celui de marchandises. Il peut être abordé sous divers aspects comme, par exemple, les performances techniques des véhicules fabriqués (consommation de carburant, émission de polluants, de gaz à effet de serre...), les caractéristiques des véhicules compte tenu de la demande (équipements, poids, vitesse...) et l'état et l'entretien du parc.

1. Les performances techniques des véhicules automobiles de transport de voyageurs

Ces performances sont directement liées aux évolutions des moteurs.

D'emblée, il doit être rappelé **qu'il n'y a pas a priori de carburant propre et de carburant sale. C'est, en réalité, la performance antipollution du couple indissociable moteur-carburant qu'il faut considérer** (M. André DOUAUD, I.F.P. ).

Chacune des caractéristiques principales des éléments de ce couple va donc être rappelée brièvement.

a) Moteurs thermiques à essence ou diesel

Pendant des années, un débat animé a opposé les partisans du moteur à essence à ceux du moteur diesel.

Actuellement, les perfectionnements intervenus pour chaque type de moteur ont donné **un léger avantage au diesel**.

En émettant moins de monoxyde de carbone que le moteur à essence, le diesel avait déjà un avantage qui fut conforté par le moteur HDI diesel (injection haute pression) qui élimine les particules et produit 20 % de moins de CO₂ que le diesel traditionnel.

Il reste à réduire les émissions d'oxyde d'azote pour les diesels et celles des particules pour les moteurs à essence – les nouveaux moteurs à essence émettant des particules. Les pollutions résultant des deux types de moteurs sont à peu près équivalentes.

Au cours des dernières années, le diesel a été amélioré pour supprimer ses émissions de fumées noires ; le filtre à particules a supprimé la plupart de celles-ci. Récemment, le cumul de l'injection directe et du filtre à particules, comme sur la 607 de P.S.A. Peugeot Citroën, est parvenu à éliminer totalement les émissions de particules.

De ce fait, à l'avenir, **l'ensemble des constructeurs automobiles vont probablement présenter une offre diesel.**

b) La consommation de carburant

La quête d'une diminution de la consommation de carburant aux 100 km a conduit, il y a déjà une dizaine d'années, à concevoir des véhicules ne consommant que trois ou quatre litres. Actuellement, l'objectif d'un véhicule très léger ne consommant qu'**un litre aux 100 km** est poursuivi par Volkswagen.

De nouvelles techniques, comme **l'injection directe** du carburant dans le cylindre qui permet une économie de consommation de 30 % à 40 % par le diesel et de 20 % pour le moteur à essence, ont permis de tels gains.

c) L'émission de polluants

La mesure de la pollution des véhicules doit prendre en compte plusieurs paramètres, ainsi que l'a rappelé M. Jean-Pierre ROTHEVAL du CERTU ☞ à votre Rapporteur :

- les émissions unitaires par véhicule ;
- la distinction entre diesel et non diesel ;
- la connaissance de l'âge du parc de véhicules ;
- la connaissance du nombre de kilomètres parcourus.

Pour M. Bruno COSTES de PSA-Peugeot-Citroën ☞, au-delà des améliorations importantes déjà accomplies, les émissions de polluants pourraient encore diminuer de 70 % d'ici à 2005.

Cette évolution a conduit M. André DOUAUD, de l'IFP ☞ à considérer que **le problème de la pollution urbaine est résolu à terme**. En effet, l'émission de polluants est passée de 100 grammes par kilomètre en 1970, à 1 g/km en 2000 ; elle devrait être d'une fraction de gramme en 2005 et d'une dizaine de milligrammes au-delà.

Quant à **l'émission de CO₂ par les véhicules** –même s'il ne s'agit pas d'un polluant au sens strict du terme mais d'un gaz à effet de serre– l'évolution ci-dessous rappelée a été constatée et envisagée.

Emissions de CO₂ des véhicules automobiles

| | 1995 | 1997 | 2008 (objectif) |
|------------------------|------|------|-----------------|
| CO ₂ par km | 222 | 180 | 140 |
| - essence | | 197 | |
| - diesel | | 178 | |

Selon M. Jean-Pierre GIBLIN, du Conseil général des Ponts-et-chaussées ☞, l'émission de seulement 75 g/km serait un objectif envisageable pour les petits véhicules.

d) Les divers carburants

Quels seraient les carburants les mieux à même d'optimiser les moteurs actuels ?

Un rapide rappel va récapituler les mérites et limites des principaux carburants, en particulier des nouveaux carburants, d'après des jugements parfois contrastés portés par des spécialistes dont M. Bernard TISSOT, de l'Académie des Sciences ☞ :


- **Alcool pur** : sans avenir.
 - **Aquazole** : l'eau ajoutée dans le gas oil permet une économie de consommation de 2 % à 3 % pour un coût négligeable et une diminution des NOx émis ; ce procédé est adaptable sur les véhicules anciens mais convient peu aux moteurs récents d'après l'IFP.
 - **Biomasse** : en général, sans intérêt car pour produire un litre de biocarburant, 90 cl ou même plus d'un litre de pétrole sont nécessaires (M. Jean-Marc JANCOVICI ☞ mais, en sens contraire, ont été entendus M. Jacques PIOR, APCA ☞ et M. Jean LUCAS, CNAM, ☞).
- **Le diester de colza** est jugé intéressant par PSA ☞ du point de vue énergétique.

- **Le bioéthanol alcool** est impossible à utiliser dans les moteurs actuels.
- **L'éthanol** nécessite la mise en culture de surfaces considérables. Ainsi, M. Jean-Marc JANCOVICI a estimé que, pour obtenir la même quantité d'énergie que celle actuellement fournie par le pétrole pour le carburant, il faudrait mettre en culture pour les biocarburants environ quatre fois la superficie du territoire métropolitain.
- **Les esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV)** : mélangées à hauteur de 30 % avec les gazoles pétroliers, ils permettent d'éviter 50 % d'émission de CO₂.
- **Les huiles dégommées de colza** : pas de réel apport technique.
 - **Gaz méthane ou butane propane (GPL)** : pour une pollution équivalente à celle de l'essence ou du diesel, un danger est introduit du fait des risques d'explosion du réservoir. Ce carburant, utilisé par des parcs limités en **Italie** et aux **Pays-Bas**, se développe peu du fait de la rareté des points d'approvisionnement.
 - **Gaz naturel méthane CH₄** : dégage moins de CO₂ que le pétrole. Ce carburant est utilisé par les camions et semble réservé aux véhicules collectifs. Il requiert un réservoir blindé compte tenu du danger qu'il représente. Il est utilisé en **Argentine** et en **Russie**.
 - **Hydrogène** : fabriqué à partir de l'eau et stocké dans une pile à combustible, ce carburant pose des problèmes de sécurité ; coûteux à fabriquer, sa production dégage davantage de CO₂ que la combustion du pétrole. Ce carburant semble plutôt destiné aux bateaux et aux sous-marins.

e) Les nouveaux véhicules

- **Mixtes ou hybrides (thermique et électrique)** : l'association d'une propulsion électrique à un moteur diesel –pour recharger- permet de **diviser par deux la consommation et par cinq les émissions de polluants**. Malgré le problème posé par les accumulateurs et la limitation des distances à parcourir, cette technique semble avoir un réel avenir.
- **Electricité** : considérée un temps comme la source d'énergie de l'avenir pour les véhicules individuels, les limites du véhicule électrique semblent aujourd'hui le confiner à des

parcs restreints ou à un nouveau mode de vie. Il a pu être relevé que l'électrification de l'ensemble du parc de véhicules individuels multiplierait par deux la consommation électrique française.

Lors de son audition, Mme Corinne LEPAGE  a émis plusieurs réserves sur ce véhicule.


2. Les caractéristiques des véhicules compte tenu de la demande

Quelles que soient les améliorations techniques et les performances de nouveaux carburants, les constructeurs automobiles répondent à une demande –spontanée ou façonnée par la publicité- dont la finalité première peut être éloignée ou en opposition avec les exigences d'une moindre émission de polluants ou de CO₂ ou encore d'économies de carburants.

C'est ainsi que **les nouvelles exigences des consommateurs ont contribué à alourdir les véhicules** (modèles de type monospace ou tout terrain 4x4, perfectionnements techniques pondéreux comme la climatisation, l'électronique).

Le poids moyen des véhicules s'est accru de 600 kg en dix ans, avec des tableaux de bord pesant jusqu'à 500 ou 600 kg.

Au-delà de la surconsommation liée au poids du véhicule, un équipement comme **la climatisation entraîne une surconsommation** qui, selon les interlocuteurs, peut aller de 10 % à 30 %, étant toutefois précisé que rouler sans climatisation avec toutes les vitres baissées augmente également la consommation de carburant.

En outre, **la climatisation dégage du gaz à effet de serre**. En effet, un climatiseur bas de gamme perd 20 % à 30 % de son gaz chaque année alors que cette perte devrait pouvoir être limitée à 5 % (M. Pierre RADANNE, ADEME .

Or, **la climatisation concerne 50 % du parc actuel** et ne cesse de s'étendre.

Par ailleurs, **la demande exige de ces véhicules lourds qu'ils soient également rapides et nerveux**, d'où une puissance accrue des moteurs.

A cet égard, il peut être remarqué que, quelles que soient les performances techniques, **le style de conduite** influe considérablement sur celles-ci jusqu'à en annuler les progrès. Une conduite dite sportive peut multiplier par vingt les émissions de polluants alors qu'une conduite économique peut dégager jusqu'à 15 % d'économies de carburant selon

M. Thierry VEXIAU du Ministère de l'équipement, des transports et du logement ☞.

D'une manière générale, **la consommation de carburant** augmente vite au-dessus de 70 km/h et, en-dessous, elle n'est plus liée à la vitesse mais à l'usage non optimal de la boîte de vitesse –seules les boîtes de vitesse automatiques échappent à ce défaut- ainsi que MM. Yves ROBICHON et Bernard GAUVIN de la Délégation à la Sécurité routière ☞ l'ont précisé lors de leur audition.

De plus, **toutes les normes de consommation et d'émission de polluants ou de gaz à effet de serre sont outrepassées en situation d'encombrements de la circulation**, cas le plus fréquent en ville et dans les abords des grandes agglomérations.

Face à cette situation, RAC-France ☞ dénonce **la désinformation effectuée par les constructeurs automobiles** qui, dans le même temps, communiquent sur la consommation unitaire et développent, parallèlement la vente des véhicules tout terrain, dits 4x4, et celle des monospaces.

3. L'état et l'entretien du parc

Son extension et son état conditionnent ses impacts.

Le parc français est composé de véhicules de dix ans d'âge moyen et 60 % de la pollution proviennent des véhicules de plus de dix ans. D'où **un décalage d'une vingtaine d'années environ entre les découvertes des chercheurs et la présence massive des nouveaux produits dans la circulation.**

C'est ainsi que **le pot catalytique**, devenu obligatoire en France le 1^{er} janvier 1993, et le **filtre à particules** imposé à compter du 1^{er} janvier 1997, n'ont pas encore gagné l'ensemble du parc.

De plus, **le mauvais entretien des véhicules** peut encore accentuer le décalage entre les innovations et leurs effets positifs.

Alors que les constructeurs automobiles insistent sur la diminution unitaire des émissions, ils négligent de souligner l'augmentation des ventes, les évolutions des véhicules (plus lourds...) et se contentent finalement d'affirmer quelque chose du genre «*on augmentera moins que si on avait augmenté plus*» comme l'a relevé M. Jean-Claude ANDRÉ ☞ dans son audition.

Deux aspects positifs sont cependant à signaler : d'une part que, d'après l'IFP, **la pollution automobile sera, dans dix ans, très inférieure à**

ce qu'elle est aujourd'hui, même si 10 % de véhicules supplémentaires circulent et, d'autre part, que **le parc automobile français est plus économe que le parc européen** d'environ 5 % ou encore que les parcs japonais ou nord-américains dans la mesure où, en moyenne, les véhicules français sont plus petits.

En ce sens, il doit être rappelé qu'au cours des dix dernières années, la pollution d'origine automobile a été réduite d'environ 70 %, malgré l'augmentation du nombre de véhicules et de la distance parcourue par chacun d'eux.

4. Les véhicules automobiles à deux roues

Souvent oubliés dans l'étude des impacts des transports individuels, **les deux roues à moteur émettent en moyenne 10 à 15 kg de polluants par km soit dix fois plus qu'un véhicule automobile récent.**

En outre, **aucun contrôle technique n'existe pour les cyclomoteurs** dont le niveau de pollution sonore et de l'air approchent souvent celui de la Trabant encore très répandue en Europe centrale il y a une dizaine d'années.

5. Les véhicules de transport de marchandises

Les camions et camionnettes constituent **des sources majeures de pollution.**

6. Les solutions

Elles passent par des évolutions majeures comme **un changement de la relation à la voiture** et **une évolution de la voiture** à la faveur **d'un grand débat de société** ainsi que le préconise M. Pierre RADANNE, Président de l'ADEME ☞.

Un aspect central est lié à **la vitesse**. Il pourrait s'agir **d'une auto-limitation** de la vitesse, dictée à la fois par des impératifs de sécurité et d'économie de carburants, ou **d'un bridage des véhicules** fabriqués en Europe, ou **d'une limitation de vitesse européenne** –dont le respect serait facilité par un dispositif technique de limitation de vitesse comme l'ont suggéré les représentants de la Délégation à la Sécurité routière ☞ lors de leur audition –ou encore **d'un abaissement du seuil de limitation de vitesse.**

D'autres pistes pourraient être explorées comme **l'extension des boîtes de vitesse automatiques** –qui ne représentent que 3,5 % du parc


automobile français et 5 % du parc européen actuellement-, **une modification des procédés de climatisation** en produisant directement de l'air à la température souhaitée au lieu de mélanger de l'air froid et de l'air chaud et remplacer les HFC et les CHFC par du CO₂.

Le programme de recherche Predit II qui associe le Gouvernement et les constructeurs automobiles met fortement l'accent sur la consommation énergétique des véhicules ; **la lutte contre le changement climatique y a été retenue comme un enjeu prioritaire.**

En outre, la France a saisi la Commission européenne pour intégrer **le NO₂ émis par les pots catalytiques**, et mal évalué jusqu'alors, dans les normes d'émission.

B. LE RAIL

Pour organiser des services ferroviaires de fret à l'échelle européenne, la SNCF a acquis de **nouveaux matériels** dédiés au fret ; de **nouveaux sillons** ont été dégagés pour le fret – corridors de fret des réseaux trans-européens ; des soutiens au **transport combiné** ont été apportés ; une expérimentation d'**autoroute ferroviaire** entre Lyon et Turin sera lancée dès 2002.

Votre Rapporteur a tenu à organiser une audition-débat entre M. Francis ROL-TANGUY, directeur du fret de la SNCF et M. Alexis BORDET, de la Fédération des entreprises de Transport et Logistique de France (TLF) , pour sonder la réalité de l'idée souvent avancée du recours systématique au fret ferroviaire de préférence au transport routier.

Si la plupart des arguments militent en faveur du fret ferroviaire, les possibilités de substitution de ce mode de transport à la route se heurtent à de réels obstacles :

- le fret ferroviaire doit présenter **les mêmes qualités de souplesse et de fiabilité que le transport routier** ;
- le fret ferroviaire **suppose la création d'un réseau européen de chemins de fer exclusivement dédié au fret** – ce qui exige, notamment, la construction de réseaux de contournement des villes. D'où des délais de réalisation non inférieurs à 6 ou 8 ans en cas de décisions promptes suivies d'une exécution rapide et accompagnées d'un financement considérable ;
- le fret ferroviaire suppose **l'harmonisation des divers réseaux ferroviaires européens** et même du réseau intérieur français – où coexistent plusieurs voltages ;


- le fret ferroviaire nécessite **l'achat de nouvelles locomotives et de wagons** permettant par exemple leur chargement automatique.

C. L'AÉRIEN

La forte croissance du transport aérien ne peut qu'inquiéter en termes d'émissions de gaz à effet de serre.

Cette croissance fut supérieure à 10 % par an entre 1970 et 1980, à 5 % par an de 1980 à 1995 et oscille entre 6 % et 7 % depuis cette date. Dans ces résultats, le trafic international a cru plus vite que le trafic intérieur.

La France a exprimé son désir de voir **taxer le kérosène au niveau mondial** à l'occasion des travaux conduits au sein de l'Union européenne et de l'OACI.

Face à la question de l'émission de gaz à effet de serre par les transports aériens, trois réactions coexistent. Celle des constructeurs et des compagnies aériennes qui mettent en valeur les prouesses techniques (Association of European Airlines, A.E.A ) , celle des usagers qui ne demandent qu'à intensifier leur recours aux transports aériens et celle d'autres acteurs soucieux de connaître véritablement les retombées du transport aérien en matière de gaz à effet de serre et d'envisager d'autres solutions.

1. Les progrès techniques

Pour l'A.E.A., **l'ensemble du CO₂ émis par toute l'aviation mondiale est de l'ordre de 3% des émissions mondiales, soit un niveau équivalent à celui du Royaume-Uni.**

Entre 1990 et 2050, les émissions de CO₂ de l'aviation pourraient passer de 2 % à 8 %.

Face à cela, l'European Association of Aerospace Industries (AECMA) et l'Association of European Airlines (A.E.A.) ont rendu publique une position commune sur la réduction des émissions de dioxyde de carbone par l'aviation.

Pour celles-ci, de 1990 à 2012, **la consommation de carburant** devrait diminuer de 22,4 % par passager au kilomètre grâce au renouvellement de la flotte aérienne et **les émissions de CO₂ par l'aviation** augmenter d'environ 15 % à 20 % d'ici à 2015.

Au-delà de ces facteurs de progrès, **les compagnies aériennes considèrent comme irréaliste une taxation du kérosène** mais seraient favorables aux permis négociables.

2. Les usagers du transport aérien

Ils semblent être des adeptes du slogan « Liberté, égalité, mobilité » et considérer la croissance du transport aérien comme un bien absolu.

Plus loin, plus vite, plus confortablement et moins cher, de tels objectifs relèguent assez loin la préservation de l'environnement. Cependant, pour Mme Corinne LEPAGE, **le développement du transport aérien se doit d'être compatible avec le développement de l'ensemble de la société.**

De son côté, M. Jean-Pierre GIBLIN, du Conseil général des Ponts-et-chaussées ☞, estime que la consommation de combustible fossile par le transport aérien est peu maîtrisable.

Pour RAC-France ☞, l'avion est le moyen de transport le plus émetteur de gaz à effet de serre.

En sens inverse, le Professeur Maurice TUBIANA ☞ considère comme relativement négligeables les effets des transports aériens sur la pollution atmosphérique au regard de l'émission de gaz à effet de serre.

Pour parvenir à enrayer la croissance non maîtrisée du transport aérien, la solution de **la taxation du kérosène** est souvent préconisée et l'Union européenne l'envisage.

3. Les connaissances sur les émissions de gaz à effet de serre par le transport aérien

En 1997, l'**Académie des Sciences** a rédigé un rapport intitulé « *Impact de la flotte aérienne sur l'environnement atmosphérique mondial* » mais ce texte fait abstraction des émissions au sol comme de celles liées aux phases d'atterrissage et de décollage, ce qui limite considérablement non pas l'intérêt mais la portée des conclusions de cette étude.

Celles-ci précisent que « **de très grandes incertitudes règnent sur le rôle de la chimie hétérogène, que ce soit autour des particules (suies, sulfates) ou des gouttelettes et des cristaux préexistants ou dûs à l'eau émise par les réacteurs** ».

L'Académie des Sciences estime enfin que « *la communauté scientifique et la communauté aéronautique doivent poursuivre leur coopération afin d'avancer dans la connaissance des phénomènes physico-chimiques et*

radiatifs, très complexes, qui se produisent aux altitudes du vol de croisière des avions subsoniques ».

Le GIEC, lui, reste très prudent sur les effets que pourraient avoir les traînées de condensation observées dans le sillage des avions. Cette vapeur d'eau, introduite à une altitude où il n'y en avait pas, s'agglutine aux nuages, et provoque de la condensation formant des cirrostratus.

Pour AIR PARIF ☞, il y a lieu de **surveiller de près la très forte croissance du transport aérien**. Cet organisme de surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France demeure très attentif au fait que les baisses unitaires de pollution s'accompagnent d'une hausse prononcée du trafic.

AIR PARIF relève que si une automobile dégage de l'oxyde d'azote mesuré en grammes par kilomètre parcouru, **les avions dégagent de l'oxyde d'azote par centaines de kilos à chaque mouvement (manœuvres, décollages...)** C'est ainsi que les aéroports ressortent nettement en tant que zones polluées.


Pour M. Gérard MEGIE ☞, le transport aérien est responsable de modifications potentielles des concentrations d'ozone tant dans la stratosphère – destruction au-dessus de 15 km) que dans la troposphère (production en-dessous de 12 km due à l'émission d'oxydes d'azote dont le pouvoir de formation d'ozone est multiplié par 20 en altitude par rapport à la surface du sol en raison d'un rayonnement solaire accru), il a relevé qu'il existait **un impact évident de l'aviation au-dessus des couloirs aériens**, en particulier sur **l'Atlantique nord**. Par ailleurs, les émissions de gaz carbonique par le transport aérien ne représentent actuellement que 3 % des émissions totales, mais elles sont destinées à croître et donc, même si leur part est aujourd'hui faible, cela ne peut justifier l'absence d'action pour les diminuer.

Il a aussi rappelé l'existence d'**émissions par les avions de vapeur d'eau et de poussières** qui conduisent à la formation de cirrus et pourraient donc avoir un impact climatique, même si celui-ci reste potentiellement faible.

Cependant, en l'état actuel des connaissances, il n'est pas évident d'indiquer aux constructeurs d'avions les normes à respecter par les moteurs en 2020 alors qu'il n'existe pas de bases scientifiques précises. En conclusion sur ce thème, M. Gérard MEGIE a rappelé que **la zone d'altitude où volent les avions est particulièrement sensible aux modifications chimiques et dynamiques**.

Pour M. Antoine BONDUELLE ☞, en matière d'émission de gaz à effet de serre, un litre de carburant brûlé en haute altitude équivaut à 2,7 litres de carburant brûlés par les automobiles.

Pour Mme Corinne LEPAGE ☞, chaque passager aérien entraîne en moyenne la consommation de quatre à cinq litres de kérosène.

Pour M. Daniel CARIOLLE  , **il existe un impact direct du trafic aérien sur la chimie de l'atmosphère et un impact sur l'effet de serre** du fait des particules et de la vapeur d'eau rejetée à 10 ou 15 km d'altitude.

Au total, comme cela a déjà été observé pour le transport routier, les progrès techniques ne suffisent pas à annuler les conséquences de l'accroissement du parc et du trafic.

Là encore, **une nouvelle relation à l'avion** pourrait être envisagée à partir d'une réflexion sur le caractère plus ou moins impérieux du recours à ce mode de transport, qu'il s'agisse des passagers ou des marchandises.

D. LA VOIE D'EAU

Le transport par voie d'eau comprend **le maritime et le fluvial**.

En dépit des façades maritimes françaises et de la longueur de ses fleuves et canaux, ce mode de transport est très loin de jouer le rôle qui pourrait être le sien.


Pourtant ses performances sont remarquables. Il suffit de rappeler, par exemple, qu'un convoi de 4.400 tonnes sur la Seine bénéficie d'**une efficacité énergétique de plus de cinq fois supérieure à celle d'un camion** sur l'autoroute ; ce dernier, en effet, produit 50,7 Tkm (tonne kilomètre) pour un Kep (kilo équivalent pétrole) consommé contre 275 Tkm pour le convoi fluvial.

Même la comparaison avec le train est à l'avantage du fluvial : un automoteur de 2.000 tonnes autorise un rendement de 175 Tkm pour un Kep contre 128 Tkm par Kep pour un train complet.

Pour s'en tenir à l'exemple de **la Seine, le transport fluvial pourrait y être multiplié par 4 ou par 5**. De plus, **la réalisation de la liaison Seine-Nord** permettrait à la flotte de la Seine de sortir de son bassin.

Dans une telle perspective, la Seine pourrait récupérer une large part des 85 % du trafic du port du Havre qui empruntent actuellement la route.

Pour **la liaison Saône-Moselle**, sa réalisation devrait permettre de porter 10 à 20 millions de tonnes le trafic annuel de la Moselle.

Votre Rapporteur a accueilli pour une audition M. François BORDRY, Président de Voies Navigables de France (V.N.F.)  , ce qui l'a conforté dans l'idée que **le développement de la voie d'eau dépend pour beaucoup d'une attitude volontariste à son égard**.

Ainsi, le «Plan Rhône» mis en place en 1994 par V.N.F. a permis d'augmenter de plus de 80 % le trafic sur le fleuve.

Dans l'ensemble, **depuis 1997, le trafic fluvial s'est accru de 26 %.**

V. L'HABITAT ET LES GAZ A EFFET DE SERRE

Parmi les sources de gaz à effet de serre, **l'habitat** dans lequel on inclut aussi bien l'habitat individuel que les locaux de bureaux, voire le secteur tertiaire dans son ensemble, **figure parmi les sources principales d'émission de gaz à effet de serre**, en particulier dans les pays développés.

Pour la France, en 1998, le secteur résidentiel/tertiaire représentait 23 % des émissions de CO₂ d'après le CITEPA.

Ce rôle de l'habitat dans les émissions de gaz à effet de serre peut être envisagé sous cinq aspects : l'urbanisme, la construction, les modes de chauffage et de climatisation et, enfin, la consommation électrique.

A. L'URBANISME

Aujourd'hui, l'interrogation sur la possibilité de réduire les émissions de gaz à effet de serre passe par **l'étude des structures urbaines** existantes ou à créer sur l'ensemble de la planète.

A cet égard, il peut être constaté que, comme de juste, les choix d'urbanisme effectués au long des siècles engagent déjà largement l'avenir et qu'**une remise en cause**, même justifiée du point de vue théorique, **ne pourrait intervenir qu'au cours de plusieurs décennies, voire de plusieurs siècles**, à supposer qu'une volonté politique continue, relayée par des choix individuels, se manifeste sur une telle durée.

Le constat actuel aujourd'hui est celui d'un monde où **les mégalo-poles** grandissent et se multiplient avec les avantages résultant de leur concentration mais aussi leurs handicaps, notamment dans les pays en voie de développement où les mégalo-poles se constituent par agglutination des populations ayant fui les zones rurales sans que le niveau économique des structures urbaines géantes ou leur état d'organisation soit pour autant en mesure de proposer un mode de vie satisfaisant.

S'ajoutent à cela **les implantations, souvent côtières, de ces mégalopoles qu'une élévation du niveau de la mer ou une érosion accrue pourrait venir sérieusement menacer en cas de changements climatiques.**

B. LA CONSTRUCTION

A travers la nouvelle préoccupation d'une moindre émission de gaz à effet de serre, **les matériaux ou les procédés de construction** doivent être passés au crible, qu'il s'agisse de la construction individuelle ou de la construction collective.

Par exemple, la comparaison entre **le carbone dégagé par la fabrication d'une poutre**, métallique, en béton ou en bois, conduit à constater que les deux premières émettent une quantité non négligeable de carbone alors que la troisième en stocke.

Cependant, **jusqu'à présent, les choix architecturaux n'ont pas été effectués à partir du critère de moindre émission de carbone**, mais à partir de considérations esthétiques, de coût et de facilité à se procurer les matériaux.

Cette simple considération rappelle que la priorité nationale reconnue par voie législative à la lutte contre l'intensification de l'effet de serre ne peut être qu'un **voeu pieux** dans la mesure où, de fait, beaucoup de priorités nationales existent, sans être forcément proclamées par voie législative et que, dans la pratique, les choix sont effectués en fonction d'un classement qui n'est publié nulle part.

Dans la construction, c'est **le secteur de la maison individuelle qui utilise davantage de bois** : 30 % des fenêtres étant fabriquées en bois contre 44 % en PVC et 26 % en aluminium. Toutefois, ce sont des bois tropicaux que consomment près de 55 % de la menuiserie industrielle.

Dans le cadre de la réflexion sur le stockage du carbone par le bois utilisé dans les constructions, il a été constaté que le regain du recours au bois, pour l'instant, se limite essentiellement, en France, aux salles de sports, alors que tel n'est pas le cas en Allemagne ou aux Pays-Bas. En effet, **le réflexe maison-bois n'est pas fréquent en France** où, même pour des passerelles, des clôtures ou des garages, il est souvent nécessaire de s'approvisionner en Allemagne.

Cependant, **les avantages du bois comme matériau de construction sont nombreux**. En effet, sa production nécessite trois fois moins d'énergie que celle exigée pour réaliser un bâtiment en béton. De plus, si, pour sa production, une tonne de bois consomme 1,5 tonne de gaz carbonique, elle rejette 1,1 tonne d'oxygène dans l'atmosphère à travers la photosynthèse.

Le bois possède aussi des qualités tout à fait exceptionnelles de régulation hygrométrique, thermique ou acoustique. Par exemple, le bois est 12 fois plus isolant que le béton, 350 fois plus que l'acier et 1.500 fois plus que l'aluminium. En outre, des progrès techniques ont bénéficié également au bois, à travers notamment des bois reconstitués ou des bois composites aussi fiables que le béton. Dans le rapport BIANCO sur la forêt est citée une étude du Professeur W. WINTER comparant les coûts d'une structure en béton et acier à ceux d'une structure en bois. Ceux-ci sont retracés dans le tableau suivant :

Répartition des coûts comparés de structures selon les matériaux utilisés
(en pourcentage)


| Structure \ Coût | Béton-acier | Bois |
|------------------|-------------|-------|
| Énergie | 30-40 | 5 |
| Capital | 30-40 | 10-20 |
| Main d'œuvre | 20-30 | 70-80 |

Compte tenu de l'ensemble des éléments rappelés ci-dessus, le rapport BIANCO a recommandé la mise en œuvre d'**un plan pour le bois matériau** qui pourrait se résumer en six actions :

1. Appliquer la loi sur l'air de 1996 en imposant **un pourcentage minimum de bois dans les constructions publiques.**
2. **Former aux systèmes constructifs bois** des architectes, des élus, des services techniques, des bureaux d'études.
3. Favoriser des actions en direction de **la maison nouvelle et des bâtiments agricoles.**
4. Diversifier l'offre des **techniques constructives bois.**
5. Monter sur l'ensemble du territoire des programmes spécifiques **d'information sur tous les bâtiments en bois.**
6. **Inciter les particuliers au choix du bois,** et ce déjà à travers l'application des mesures fiscales existantes.

Un tel plan pourrait avoir un réel impact dans la mesure où le matériau bois ne représente que 9% de la valeur des matériaux consommés par le bâtiment et les travaux publics en France, alors que ce taux atteint 10 % en Allemagne et 35 % en Amérique du Nord et dans les pays scandinaves. Par ailleurs, **les contrats emplois-régions** comme **la politique de recherche** pourraient encourager le recours au bois matériau de construction.

C. LE CHAUFFAGE

Si le bois utilisé en tant que matériau de construction constitue une épargne nette du carbone qu'il renferme pendant la durée de vie du bâtiment qu'il compose, le **recours accru au bois énergie** semble être également une voie à suivre (Audition de M. Pierre RADANNE, ADEME ) .

Tout d'abord, votre Rapporteur se doit de dissiper une confusion née d'un slogan un peu hâtivement répété selon lequel le chauffage au bois n'émettait pas de dioxyde de carbone. En effet, la combustion du bois restitue à l'air le carbone qu'il lui a prélevé lors de la photosynthèse et, à cet égard, le bilan de la filière bois peut être considéré comme nul dans le cadre de ce cycle. En revanche, il est évident que **la combustion du bois dégage du carbone**, même si celle-ci est plus limitée que celle dégagee par la combustion d'énergies fossiles comme le pétrole ou le charbon.

Le bois de chauffage en France est actuellement la plus importante source d'énergie renouvelable –après l'électricité hydraulique (8,1 Mtep en 1997).

L'ADEME encourage, notamment depuis 1994, le chauffage au bois qui demeure encore assez marginal, d'où la recommandation du rapport BIANCO de mettre en œuvre **un plan d'action bois-énergie**.

Depuis 1994, le Plan bois-énergie et la promotion du chauffage d'appoint au bois en complément du chauffage électrique ont soutenu et encouragé la demande de chauffage au bois. Les tempêtes de décembre 1999 ont renforcé l'objectif d'installation de chaufferies au bois, notamment en milieu rural.

Même si la consommation énergétique du poste chauffage a peu augmenté de 1973 à 2000, grâce notamment à la construction de logements neufs mieux isolés, **le chauffage des bâtiments est un poste qui produit le maximum de gaz à effet de serre** et qui représente **70 % de la consommation énergétique totale du secteur résidentiel-tertiaire**. Il s'agit souvent du chauffage au fuel ou au gaz ou encore au charbon et lorsque c'est l'électricité qui est utilisée, il faut encore considérer le mode de production de celle-ci, seule l'électricité d'origine nucléaire n'émettant pas de gaz à effet de serre.

Beaucoup d'études ont été menées, notamment en France, par l'ADEME, par l'INESTENE, pour comparer les différents modes de chauffage entre eux et éventuellement, réduire l'importance de cette source d'émission.

D. LA CLIMATISATION

La climatisation constitue l'autre face du chauffage et risque de jouer un rôle encore supérieur dans les années à venir si le réchauffement découlant du changement climatique intervient.

En effet, dans ce cas, **des vagues de chaleur** interviendraient de manière plus fréquente et avec une intensité plus marquée, ce qui serait particulièrement ressenti dans les grandes villes où le nombre de personnes éprouvant des difficultés respiratoires, voire celui des décès intervenant lors de tels événements ne peut manquer de croître, comme l'atteste l'étude des vagues de chaleur survenues au cours des années passées.

Il est à noter que la climatisation dans les bâtiments est complémentaire de celle installée dans les véhicules automobiles et constitue un autre aspect du même mode de vie.

Quant à la seconde, elle joue un rôle négatif du fait des **fuites de gaz à effet de serre** qu'elle occasionne.

En ce qui concerne la climatisation de l'habitat, parfois inutilement consommatrice d'énergie, il a déjà pu être déploré les effets des **vapeurs émanant des blocs de réfrigération**, situés notamment au sommet des immeubles de grande hauteur, qui ont vraisemblablement occasionné des cas de légionellose.

E. LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

Dans le secteur résidentiel-tertiaire, l'éclairage, l'électroménager et la bureautique atteignent actuellement **30 % des consommations énergétiques** du secteur. Cela représente **un triplement de 1973 à 1998**.

Votre Rapporteur a tendance à déduire de ces chiffres que **des gisements d'économies d'énergie** existent sur ce poste à condition que chaque consommateur prenne conscience de l'impact de son comportement quotidien sur l'évolution générale de la consommation, d'où certaines **préconisations relatives à la vie quotidienne** émises à la fin du présent rapport.

CHAPITRE QUATRIÈME : LES CONSÉQUENCES DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

I. LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL A ACCRU LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Les émissions de gaz à effet de serre par la civilisation industrielle proviennent de multiples origines et constituent **un facteur commun du développement des sociétés actuelles.**

La courbe de l'évolution des émissions de dioxyde de carbone fossile depuis 1860 qui croît selon un angle de 45° depuis les années 1950 parle d'elle-même.

Même si les diverses formes de combustion des énergies fossiles constituent la source d'émission de gaz à effet de serre la plus évidente, elle sont très loin d'être les seules. Il suffit d'évoquer la combustion de la biomasse, la déforestation, la concentration urbaine (déchets), l'agriculture (rizières, émissions azotées causées par les engrais), l'élevage, pour se remémorer l'omniprésence des émissions de gaz à effet de serre.

II. DES ACTIVITÉS TRADITIONNELLES ÉMETTRICES DE GAZ À EFFET DE SERRE

A. L'ÉVALUATION DES ÉMISSIONS DE PROTOXYDE D'AZOTE (N₂O) PAR LES SOLS

Pour apprécier les conséquences des émissions de gaz à effet de serre par l'agriculture, il convient préalablement d'en évaluer au mieux l'ampleur, ce qui est indispensable dans le cadre de l'application du protocole de Kyoto, puis, à l'autre bout de chaîne d'examiner les impacts que les changements climatiques pourraient avoir sur l'agriculture, notamment en France.

L'évaluation des émissions de protoxyde d'azote ou oxyde nitreux par les sols demande à être effectuée non seulement à l'échelle globale, mais, surtout, à l'échelle régionale.

1. Les émissions de protoxyde d'azote par les sols agricoles en France

Si l'évaluation mondiale des émissions de N₂O est indispensable pour mettre en œuvre le protocole de Kyoto, la difficulté de mesurer ces émissions en France permet de mieux cerner les limites de l'approche globale.

En France, les sols agricoles occupent une très forte proportion du territoire et émettent beaucoup d'azote en raison de l'importance des niveaux azotés apportés par les engrais. Le CITEPA considère que **plus de 50 % des émissions de N₂O proviennent des activités agricoles**, et ce, surtout du fait des fertilisants minéraux et organiques. Le Royaume-Uni et les Pays-Bas seraient proches de ce seuil.

Mais, une fois encore, il faut noter que de telles estimations reposent sur **des incertitudes** assez fortes **pouvant atteindre 35 à 40 %** pour les émissions d'origine industrielle, et **près de 100 % pour les sources de production naturelles et agricoles**. Ce degré d'incertitude est lié au fait que les émissions de N₂O sont très limitées dans le temps, notamment après des pluies et présentent des variations considérables au niveau d'une parcelle agricole souvent de plusieurs ordres de grandeur.

A l'occasion du colloque déjà évoqué sur l'effet de serre dans l'espace rural, M. Pierre CELLIER et Mme Patricia LAVILLE (1) ont effectué **une étude critique du modèle utilisé par le GIEC**.

Sans entrer dans la description détaillée de la méthodologie employée par le GIEC et utilisée par le CITEPA, **ces auteurs ont noté que la réactualisation de la méthodologie GIEC avait conduit à multiplier les émissions de N₂O par presque 3 pour la France, ce qui mettait ce gaz quasiment à égalité avec le méthane pour la contribution au forçage radiatif -à l'intensification du réchauffement- à l'échelle de la France**. Une même réactualisation a conduit à multiplier les estimations par 5 pour les Pays-Bas. De plus, ces auteurs ont observé qu'**un inventaire devait prendre en compte toutes les voies possibles du devenir de l'azote** (épandage d'engrais, fixation symbiotique, résidus de cultures, ammoniac, azote apporté et perdu par drainage ou ruissellement superficiel qui va induire des émissions

(1) M. Pierre CELLIER et Mme Patricia LAVILLE appartiennent à l'unité de recherche en bioclimatologie de l'INRA, située à Thiverval-Grignon, et leur communication s'intitulait « les émissions de N₂O par les sols agricoles en France : quelle évaluation possible ? ».

de N₂O dans les sols des écosystèmes naturels, dans les cours d'eau ou dans les estuaires ; cette dernière catégorie d'azote étant estimée à 30 % du total de l'azote apporté).

Ils ont aussi révélé que, dans tous les cas, les facteurs d'émissions font apparaître **une variation d'au moins 80 % par rapport à la valeur moyenne**. Cette variation provient d'abord de la dénitrification qui varie fortement selon le lieu d'émission, même à l'échelle du mètre carré, et selon la période d'émission, que ce soit au cours de la journée ou de la semaine. En outre, s'ajoute à cette incertitude **le faible nombre de données de longue durée**. De la sorte, les facteurs d'émission utilisés par les différents chercheurs ne peuvent être que des facteurs moyens. En outre, **les données sont très disparates et souvent incomplètes**.

Il est pourtant indispensable d'améliorer ces données pour réellement prendre en compte les caractéristiques des milieux naturels et les différentes techniques culturales employées. Cela peut se faire à partir de mesures locales ou de modèles de simulation des émissions.

Des mesures locales élaborées en **Grande-Bretagne** ont permis de montrer que les prairies représentent environ 75 % du total émis par les sols agricoles, car ces prairies sont très fertilisées, mais **les mesures ponctuelles sur telle ou telle prairie ne peuvent prendre en compte la variabilité liée au climat**. Des expériences menées en **Australie**, consistant à comparer des émissions de N₂O à l'échelle d'une petite région avec celles du GIEC ou du NGGIC (Australian National Greenhouse Gas Inventory Committee), il est résulté que les mesures directes effectuées étaient 6 et 20 fois plus fortes que les estimations basées sur les méthodologies du GIEC ou du NGGIC. Une autre expérience a montré que, à l'échelle d'une région comme **l'Ecosse**, les variables les plus déterminantes étaient la température, l'apport d'azote et la teneur en eau des sols.

Au-delà de ces méthodes de mesure directes, **des modèles de simulation des émissions**, dont les limites sont détaillées plus loin, ont été développés : c'est le cas notamment de celui de BOUWMAN, qui estime **mois par mois, en tous points du globe**, les principales zones sources de N₂O ainsi que la variation saisonnière des émissions.

Quant au modèle DNDC, il a permis de montrer, à partir de l'exemple des États-Unis d'Amérique, **que le travail du sol et les apports atmosphériques pouvaient augmenter de manière importante les émissions de N₂O**. Cependant, à partir de cette estimation, il a pu être constaté qu'elle était presque dix fois supérieure à celle d'un inventaire récent.

Enfin, d'autres modèles aboutissent à des résultats contradictoires, certains montrant que le passage à un système de non travail du sol augmentait les émissions de N₂O d'environ 7 %.

Au total, les estimations d'émissions aux **États-Unis d'Amérique** sont tellement diverses d'une étude à l'autre que leurs analyses peuvent conduire à des conclusions inverses.

Dès lors, **la nécessité de mettre en place des réseaux d'observation cohérents à l'échelle d'un pays ou d'une région semble s'imposer**. Les États-Unis d'Amérique l'ont fait (TRAGNET) et, **en France, quelques régions ont mis en place un système d'observation sur les grandes cultures (dans le Bassin parisien, la Picardie, la Champagne, la Bourgogne, le Sud-Ouest)**.

Il serait donc souhaitable de parvenir à valider les inventaires et à atteindre la précision requise en fonction de l'aire observée.

Il est évident que, d'après les régions du monde considérées, **beaucoup de travail reste à effectuer avant de pouvoir disposer d'un inventaire mondial, même d'une fiabilité relative.**

2. Les modèles opérationnels de mesure des émissions de protoxyde d'azote

Pour évaluer les émissions de protoxyde d'azote par les sols, **des modèles opérationnels** ont été imaginés. Mais ceux-ci se heurtent à plusieurs difficultés en sus de celles déjà évoquées ci-dessus.

Votre Rapporteur a choisi de les exposer en détail pour bien montrer, **à partir d'un exemple très précis, à la fois tout l'intérêt, toute la complexité mais aussi toutes les limites d'un système de simulation.**

Le **GIEC** est parti de l'idée que les émissions de N_2O correspondaient à un pourcentage des intrants azotés, essentiellement les engrais, toutes origines confondues, soit 1,25 % (ce pourcentage étant le coefficient d'émission retenue), diminué du radical ammonium (NH_3) volatilisé. Cependant, des auteurs ont critiqué cette approche dans la mesure où **les variabilités spatiales et temporelles des émissions de N_2O aboutissent à des incertitudes sur les coefficients d'émissions**. De plus, les coefficients moyens gomment en partie les variabilités spatiales et temporelles des émissions.

En fait, **les émissions dépendent du mode d'apport des fertilisants azotés, et également des conditions environnementales qui se manifestent juste après ces apports.**

Il est évident que l'utilisation d'un modèle à **l'échelle régionale**, et non à l'échelle des parcelles de terrain, peut impliquer la simplification des

renseignements accessibles à cette échelle, mais, à un moment donné, **une simplification excessive risque de rendre le modèle inopérant.**

Une autre difficulté provient des **échelles de temps**, car **les modèles doivent simuler des fonctionnements sur de longues périodes, négligeant la prise en compte de données importantes sur des durées de quelques jours**. Selon les modèles, les calculs sont aussi effectués sur des pas de temps différents, allant de quelques heures jusqu'au mois. Dès que le pas de temps est important, **le problème de la saisie d'évènements rares et fugaces mais significatifs se pose**. Comment les prendre tout de même en compte ?

Ces quelques difficultés ont conduit des chercheurs à s'interroger sur la fiabilité de différents modèles opérationnels d'émissions de N₂O. En particulier, Pierre RENAULT, de l'INRA, a rendu compte de ses recherches lors du colloque sur le bilan et la gestion des gaz à effet de serre dans l'espace rural, tenu en mai 1999, en analysant six modèles d'émissions (1). Pour s'en tenir à quelques observations pour illustrer les critiques relatives à ces différents modèles, il a été noté par ce chercheur que le modèle CARNEGIE ne faisait pas la distinction entre nitrification \diamond (2) et dénitrification, que le modèle NLEAP-N₂O simulait les émissions de N₂O à l'échelle parcellaire, mais à partir d'une conception similaire à des modèles d'échelle régionale, que le modèle DNDC axé sur la description des processus microbiens était le meilleur sur ce point, et que tous les modèles considérés étaient associés à des programmes d'estimation régionale des émissions de N₂O.

Dans son analyse, M. Pierre RENAULT a montré que **pour être opérationnels, tous les modèles simplifiaient beaucoup la réalité, et de ce fait les conclusions dépendaient très fortement des hypothèses**. De plus, tous les modèles ignorent l'effet du travail du sol sur la distribution spatiale des pores libres à l'air, alors que leur distribution influence fortement l'activité dénitrifiante du sol. Par ailleurs, **même de très faibles apports d'azote par les pluies peuvent provoquer davantage d'émissions de N₂O que des fertilisations élevées**, d'où le problème de la prise en compte de l'accroissement des émissions de N₂O des milieux naturels associé à la pollution anthropique de l'air.

Ainsi, l'action de l'homme peut avoir un effet sur l'émission de N₂O autrement qu'à travers la culture des sols et du fait de la pollution de l'air qu'il occasionne.

A partir des différentes cartes d'émission de N₂O produites par les modèles, **la distribution des émissions mondiales semble provenir, à plus de 60 %, des forêts tropicales et des savanes. L'est des États-Unis**

(1) Il s'agit des modèles DNDC, BOUWMAN – qui a servi de base aux travaux du GIEC-CARNEGIE- AMES- STANFORD, NGAS, ECOSYS, NLEAP-N₂O.

(2) Alors que ces processus sont censés agir en sens opposés.

d'Amérique et de l'Europe font également apparaître des émissions fortes de N_2O .

Certains modèles, tout en aboutissant à des estimations annuelles similaires, montrent des résultats très différents par pays en Europe. A l'intérieur même de pays étendus comme les États-Unis d'Amérique, la distribution dans l'espace des émissions selon les régions varie sensiblement, sans qu'il soit possible d'analyser vraiment les origines de ces écarts.

En conclusion, il semble que si plusieurs modèles opérationnels régionaux couplent le fonctionnement du sol à celui de la végétation et du climat, ils se distinguent entre eux par la description des processus, des échelles d'espace et des pas de temps. Certains modèles n'entrent pas dans les mécanismes de la nitrification et de la dénitrification. De plus, les auteurs n'explicitent pas vraiment la méthodologie qu'ils utilisent pour définir les fonctions décrivant les effets des facteurs du milieu pris isolément.

Quant à la combinaison des différents facteurs, elle néglige les interactions entre les effets de ceux-ci, ou se limitent à des interactions simples.

Ainsi, lorsque les processus microbiens sont finement analysés, il arrive que le couplage entre ces processus et les processus de transfert soient assez rudimentaires. Or, l'auteur cité a relevé que **des erreurs sur une partie du processus peuvent être à l'origine d'erreurs dépassant largement 100 % dans d'autres parties du processus**. En outre, si la dénitrification est relativement bien connue, la nitrification l'est moins.

D'où la nécessité de « poursuivre » un effort de mise au point de **modèles couplant processus de transport, cycles biogéochimiques de carbone et d'azote, croissance et développement de la végétation**. Il apparaît aussi nécessaire de privilégier l'amélioration des données concernant les activités microbiennes, l'aération du sol et les transferts de gaz autres que le N_2O et d'approfondir les connaissances sur certains processus.

B. L'ÉMISSION ET LA CONSOMMATION DE MÉTHANE (CH_4) PAR LES SOLS

Tout d'abord, un rappel: la principale source naturelle d'émission de méthane réside dans les sols inondés et 70 % des émissions de CH_4 sont d'origine anthropique.

Une fois émis, **la troposphère élimine le CH_4** .

L'émission de méthane peut provenir des **sols de forêts**, des **sols arables submergés** tout autant que des rizières. Dans ce contexte, **la rizière** est l'écosystème le plus étudié sachant que la production d'un kilo de riz correspond à l'émission moyenne de 120 g de CH₄.

Dans le cas des sols submergés non végétalisés, le transfert de CH₄ vers l'atmosphère se fait par diffusion et sous forme de bulles, tandis que dans les sols végétalisés, la majeure partie du CH₄ s'échappe à travers les plantes. **Les émissions de CH₄ sont très différentes selon les sols, et, ce, y compris pour une même culture** ; les rizières par exemple peuvent émettre du CH₄ dans des proportions variant de 1 à 20. De plus, les émissions de CH₄ varient de manière très importante **au cours de la journée**, de même qu'**au cours du cycle cultural**. Ces précisions permettent de montrer que les émissions de flux de CH₄ ne peuvent être évaluées que grâce à un nombre important de mesures à des intervalles de temps rapprochés.

Compte tenu de ces éléments, votre Rapporteur s'est interrogé sur **l'influence du climat sur l'émission ou la rétention de méthane**.

Ces deux activités se produisent de manière optimale lorsque la température se situe **entre 30°C et 40°C**. Toutefois, des émissions se manifestent aussi dans des environnements engorgés, par exemple, **sous la neige**. Dans le cas des rizières, la présence de riz augmente de 4 à 5 fois l'émission de CH₄. Dans les zones marécageuses, certaines plantes accélèrent les émissions de CH₄ tandis que d'autres les réduisent ; de même, dans les tourbières et dans les toundras.

L'augmentation de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère, qui aura pour effet d'augmenter la productivité des écosystèmes, devrait donc augmenter aussi l'émission de CH₄ dans les milieux méthanogènes(1).

Par ailleurs, **les pratiques culturales peuvent influencer sur l'émission de méthane**. A l'heure actuelle, la riziculture sous eau est la plus développée du fait de sa meilleure productivité, et il a été démontré qu'une diminution, allant de 60 % à plus de 90 % de l'émission de CH₄, pouvait être obtenue quand les rizières sont drainées une ou plusieurs fois au cours du cycle cultural, ce qui est sans conséquence sur le rendement en riz. En revanche, des différences d'émission de CH₄ de près de 500 % ont été observées selon **les variétés de riz**.

Toutefois, votre Rapporteur doit souligner que **la pratique du drainage consomme deux à trois fois plus d'eau que la submersion continue, et qu'elle favorise l'émission de N₂O, autre gaz à effet de serre, lors de la remise en eau**. De plus, il est probable que cette pratique ne

(1) *La méthanogenèse est la production brute de CH₄ dans un sol par les bactéries méthanogènes tandis que la méthanotrophie est la consommation brute ou oxydation de CH₄ dans un sol par les bactéries méthanotropes.*

pourrait être mise en œuvre que dans un nombre modeste de rizières submergées, car un bon nivelage des sols et une maîtrise de l'eau sont les conditions de sa mise en œuvre.

Des classements ont été effectués selon le potentiel méthanotrophe (1) des sols cultivés. Ils montrent que **ce sont les forêts, suivies des pâturages, et enfin des sols cultivés qui absorbent le mieux le méthane.**

D'une manière générale, il a été relevé que dans les sols cultivés exondés – c'est-à-dire non recouverts d'eau- les semis directs sans travail du sol peuvent augmenter de six à huit fois l'oxydation (l'absorption) du CH₄ atmosphérique par rapport aux sols labourés, alors que le compactage du sol par les engins agricoles peut la réduire de moitié.

La modification des pratiques de fertilisation peut également contribuer à la réduction de l'émission de CH₄ (combinaison d'engrais organiques avec des engrais azotés, utilisation préférentielle d'engrais sulfatés, enfouissement des engrais, recours à l'acétylène, qui augmente à la fois les rendements de 30 %, et diminue de 35 % l'émission de CH₄).



A l'inverse des sols inondés, **les sols exondés peuvent devenir des puits de CH₄** grâce à des apports d'ammonium.

Enfin, **dans les sols non cultivés**, il est évident que des mesures aptes à réduire les émissions de CH₄ ou à en favoriser la consommation ne seront mises en œuvre et financées que si elles sont porteuses d'effets secondaires. Cela peut être le cas lors de l'assainissement de marais pour en écarter le paludisme ou la mise en culture de tourbières, ou encore la revégétalisation de landes acides infertiles pour y faire croître une végétation herbacée favorable à l'élevage.

Votre Rapporteur ne peut donc manquer de souligner que, **quelles que soient les techniques de réduction d'émission de CH₄ prônées pour les sols cultivés, celles-ci doivent se traduire par un bilan positif pour l'agriculteur de nature à l'inciter à un nouveau comportement.**

En conclusion, l'imprécision des estimations quantitatives relatives aux émissions ou séquestrations de méthane par différents types de milieux doit être encore une fois rappelée ainsi que le fait **qu'en France les sols cultivés et l'ensemble des sols constituent un puits de méthane qui ne consomme qu'un très faible pourcentage du CH₄ résultant des activités agricoles, industrielles ou des décharges.**

C. LES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'AGRICULTURE

La mission interministérielle de l'effet de serre (MIES), dans son rapport sur les *Impacts potentiels du changement climatique en France au XXI^{ème} siècle*, (1)  a estimé que les impacts sur l'agriculture française remettraient d'abord en cause **la sur-adaptation de l'agriculture française aux conditions climatiques actuelles** (M. Guy VASSEUR et M. Jean-Noël TERRIBLE, APCA, .

Des effets directs et indirects de l'augmentation de la concentration atmosphérique de CO₂ interviendraient, les premiers augmentant **l'activité photosynthétique** des tissus chlorophylliens et donc la production et raccourcissant **les cycles de végétation**. En revanche, **les besoins en froid** des cultures ne seraient pas satisfaits (or, les arbres fruitiers, tout comme les pommes de terre par exemple, ont de tels besoins).

Quant à **la vigne**, une diminution des quantités récoltées est probable et **les prairies** verraient leur biodiversité diminuer en fonction du changement floristique.

Parallèlement, **les mauvaises herbes** de même que **les ravageurs de culture** ou encore **les maladies cryptogamiques** risquent de se développer.

La fertilité azotée diminuerait, les sols retenant davantage l'azote tandis que **l'augmentation des précipitations** entraînerait de plus grands risques d'érosion des sols.

Face à ces divers changements, la MIES considère que **l'agriculture dispose d'une palette de moyens d'adaptation**, notamment à travers la modification des dates des semis, du rythme et des quantités des apports d'engrais, mais elle note qu'il sera sans doute nécessaire de créer de **nouvelles variétés** prenant en compte des hivers plus chauds.

Quant aux **besoins en eau**, il s'agira peut-être moins de les apprécier en quantité brute qu'en efficacité face à des objectifs précis de production.

Le rapport de la MIES rappelle que l'agriculture française est actuellement très adaptée mais à l'intérieur d'une gamme restreinte de conditions climatiques dans chaque région. Dès lors, **la répétition d'événements climatiques extrêmes** pourrait remettre en cause cette adaptation.

(1) *Contribution de Richard DELECOLLE, Unité de Bioclimatologie, INRA, Avignon, Pierre-Alain JAYET, LESPA, INRA, Grignon et Jean-François SOUSSANA, Unité d'Agronomie, INRA, Clermont-Ferrand.*

À partir des simulations effectuées, **les changements climatiques devraient permettre à l'Europe une augmentation globale de ses rendements comme des superficies adaptées aux principales grandes cultures.** Par rapport à aujourd'hui, l'augmentation moyenne annuelle de production de blé pourrait être d'une dizaine de millions de tonnes entre 2010 et **2040** et de 25 Mt entre 2040 et **2100**.

Parallèlement à la mention de ces effets positifs, quoique reposant sur une certaine fragilisation des conditions de production, la M.I.E.S. a rappelé que l'agriculture apparaît aussi comme un agent d'émission de gaz à effet de serre à travers **le méthane** dégagé par les animaux. De plus, les productions végétales dégagent des **protoxydes d'azote** provenant de la dégradation des engrais azotés dans le sol. Mais, elle a estimé que ces effets négatifs sont contrebalancés par le stockage du carbone dans les racines et la partie aérienne des plantes.

Au total, la MIES craint que **les adaptations à effectuer** pour combiner tous les facteurs permettant de conduire une exploitation agricole dans le nouveau contexte de moindre émission de gaz à effet de serre (choix des productions végétales, des productions animales, de l'alimentation animale, de la composition même des aliments pour animaux) deviennent **trop complexes à intégrer pour l'agriculteur.**

III. TERRITOIRES ET GAZ À EFFET DE SERRE

Les principaux impacts sur les territoires des conséquences des émissions accrues de gaz à effet de serre peuvent être examinés à travers l'élévation du niveau de la mer, les modifications du cycle de l'eau, le cas particulier du milieu montagnard, la fréquence des événements climatiques extrêmes et la situation des DOM-TOM.

A. L'ÉLEVATION DU NIVEAU DE LA MER

1. L'élévation du niveau moyen de la mer

A l'intérieur du phénomène mondial d'élévation du niveau des océans, des conséquences peuvent concerner très directement **la France** qui, avec ses **6.959 km d'espaces côtiers** (5.500 km en métropole et 1459 km outre-mer), compte 1.925 km de plages représentant 35 % du littoral métropolitain, dont 400 km de plages protégées par des ouvrages artificiels.

Deux enjeux coexistent : la préservation du trait de côte et le maintien des habitats ou activités installés sur ou à proximité des plages.

Jusqu'à une date très récente, l'élévation du niveau de la mer ne constituait pas une véritable préoccupation, mais le nouvel intérêt porté aux conséquences de l'intensification de l'effet de serre sur le trait de côte a mis l'accent sur cette question.

D'autant que certains espaces fragiles subiront, du fait de l'élévation du niveau de la mer, une **salinisation** de leurs sols ou des intrusions souterraines d'eaux salées dans les nappes phréatiques littorales.

Même si un très grand nombre de territoires côtiers du monde sont concernés, l'exemple de la France retenu par votre Rapporteur, permet d'exposer les divers aspects de cette question, tout d'abord, en s'interrogeant sur la nature et les caractéristiques des plages, sur la nature et l'importance de l'élévation du niveau de la mer, puis en examinant les équipements propres à protéger ces lieux et, enfin, en examinant les coûts politiques et financiers de la résistance à la mer au nom de la protection des rivages.

2. La nature et les caractéristiques des plages

Même si la vue d'une plage constitue un paysage familier, la nature même de la plage est-elle bien connue ? Davantage considérée comme simple paysage ou lieu ludique, il est généralement admis que la plage doit être préservée dans son état actuel une fois pour toutes, la mer lui semblant presque étrangère. En réalité, la plage est un lieu ayant recueilli au fil des années de nombreux sédiments et étant appelé, du fait des vents comme de l'action continue des vagues, à être sans cesse modifié.


Une plage est vivante, en ce sens qu'elle augmente sa consistance grâce aux dépôts d'alluvions et qu'elle cède du terrain sous les chocs répétés des vagues (48% des plages françaises métropolitaines subissent cette érosion qui peut atteindre 1 à 1,5 mètres par an pour les plages du Calvados et 1,5 m pour celles de la Côte d'Aquitaine).

Son maintien spontané ne peut résulter que d'**un état d'équilibre dynamique** et son maintien artificiel suppose de lourdes interventions de l'homme.

Ce phénomène a été expliqué en partie par le principe de BRUUN qui a montré que l'érosion continue de la plage et le recul du trait de côte s'accompagnent du maintien de l'épaisseur de la tranche d'eau littorale. Si ce n'est qu'en cas d'élévation du niveau des eaux, ce sont de plus hautes vagues qui peuvent déferler sur la plage.

3. La nature et l'importance de l'élévation du niveau de la mer

Encore une fois, votre Rapporteur doit rappeler que **le niveau de la mer n'a cessé de fluctuer au cours de l'histoire de notre planète** comme cela a déjà été décrit dans la première partie du présent rapport à propos de la paléoclimatologie.

Le satellite Topex-Poséidon, lancé en 1992, a indiqué que, **au cours de la dernière décennie**, le niveau global moyen de la mer a augmenté de **2,5 mm par an**. Il a surtout montré, ce qui fut une révélation, que **l'élévation du niveau de la mer n'était pas du tout uniforme sur l'ensemble de la surface des océans et que cette hausse était parfaitement corrélée avec la dilatation thermique de l'océan causée par le réchauffement climatique** (Audition de Mme Anny CAZENAVE du C.N.E.S. .

Au cours du **XX^{ème}** siècle, la mer s'est élevée d'environ 10 à 20 cm (1 à 2 mm par an). Les rapports du G.I.E.C. prévoient **pour le XXI^{ème} siècle, une élévation moyenne du niveau de la mer oscillant entre 40 cm et 98 cm**, étant précisé d'emblée que l'impact d'une telle élévation varie très fortement selon la configuration des côtes considérées. **Les plages en subiront donc des modifications bien plus importantes que dans le passé récent.**

Un rapport du ministère chargé de l'environnement relatif aux plages françaises a montré que, **en cas d'élévation du niveau de la mer d'un mètre, le recul de la plage pourrait atteindre cent mètres** mais que le sable érodé irait se déposer ailleurs.

4. Les constructions destinées à protéger les plages

Pour empêcher le recul du trait de côte, des constructions sont édifiées soit parallèlement à la plage, soit perpendiculairement à celle-ci. Il peut s'agir de jetées assimilables à **des murs** ou encore de **cordons d'enrochements** mieux à même d'absorber l'énergie des vagues.

Ces solutions d'ingénieur sont d'une grande efficacité et d'un coût non négligeable. Mais, au fil des ans, il a été constaté qu'elles avaient des conséquences négatives sur l'environnement, notamment en favorisant la réflexion des vagues sur l'obstacle formé par ces constructions.

En réalité, pour se maintenir à l'identique, **la plage doit recevoir en permanence des sédiments pour compenser l'action inéluctable de la mer**. Or, la formation originelle des actuelles plages françaises résulte de la remontée du niveau des eaux lors du réchauffement climatique intervenu il y a 6.000 ans, qui a apporté sables et galets. Cette action de la mer fut complétée

par l'action des fleuves qui fournissaient aussi nombre de sédiments aux deltas.

C'est pourquoi, **de nos jours, les plages régressent** dans la mesure où l'apport de sédiments depuis le large a cessé avec la montée des eaux et où les barrages établis sur les fleuves, les digues au long de ceux-ci ou l'extraction de granulats empêchent l'arrivée des sédiments jusqu'aux deltas.

Par exemple, du fait des barrages, **le delta du Rhône** ne reçoit plus que 2 à 6 millions de tonnes de sédiments par an actuellement, contre environ 17 à 21 millions de tonnes de sédiments au cours du XIX^{ème} siècle. Il en est de même, et de manière très spectaculaire, pour **l'Ebre** et **le Nil** dont les apports en sédiments ont été réduits de plus de 90 %.

Par conséquent, **pour protéger les plages, il est moins important de les préserver de l'érosion des vagues, que de leur permettre de se recharger en sédiments. Cela peut d'ailleurs s'opérer automatiquement lorsque la plage est adossée à des dunes (1)** qui jouent, en quelque sorte, le rôle de réserve de sable. Dans les autres cas, un **rechargement artificiel** peut intervenir comme cela s'effectue par exemple aux **Pays-Bas** où le sable se trouvant sous les eaux du large est aspiré mécaniquement par l'homme pour recharger les plages. Il s'agit là évidemment d'une technique perfectionnée et coûteuse, mais qui permet aux Néerlandais de maintenir le bon état de la plage.

5. Les coûts financiers et politiques de résistance à la mer

Pour qu'une résistance efficace soit opposée à l'action de la mer sur les plages, il faut **une prise de conscience** du phénomène ainsi que de la multiplicité des données décrites ci-dessus.

Partant de là, si des équipements et des habitats méritant absolument d'être maintenus se trouvent à proximité de la plage menacée, une décision politique devra intervenir à partir d'un **bilan coût/avantages du maintien du trait de côte**.

De telles opérations ont été entreprises et conduisent à préconiser non pas un seul type de défense face à la montée des eaux, mais deux.

Le premier est celui de la **défense rigide** jusque là privilégiée par la France, mais plutôt coûteuse. Le second consiste à accepter l'évolution du trait

(1) *En France métropolitaine, les dunes couvraient environ 25.000 hectares au début du XXème siècle et ont diminué de 50% sur les côtes atlantiques et de 75% sur la côte méditerranéenne.*

de côte ; il est connu sous le nom de **défense souple** et a maintenant la préférence des Pays-Bas.

M. François LETOURNEUX, Président de l'Institut Français de l'Environnement (IFEN) ☞ a précisé que le Conservatoire du littoral prône également une défense souple.

Au-delà de ces deux solutions qui s'appliquent aux équipements et habitats déjà en place, **votre Rapporteur préconise une attitude pour l'avenir consistant à anticiper la montée des eaux et à éviter de construire dans une zone qui, à un moment donné, sera menacée** (1) A cet égard, il n'est pas nécessaire d'interdire, dès à présent, l'utilisation de zones qui ne devraient pas être menacées avant une cinquantaine d'années, mais peut-être de prévoir des zones non aménageables, des zones provisoirement non aménageables et, enfin, des zones aménageables durablement.

L'IFEN travaille à un programme pour améliorer les méthodes **d'estimation des populations exposées aux risques d'inondation** (M. Bernard MOREL, IFEN ☞).

Cette façon de procéder permettrait de continuer à profiter de ces espaces naturels constitués par une plage tout en prenant très directement en compte le caractère naturellement vivant et évolutif de celle-ci.

Une carte de France métropolitaine sur laquelle apparaissent les plages qui ont fait l'objet d'apports artificiels en vue de leur rehaussement donne une idée des espaces côtiers les plus menacés.

(1) La loi dite « littoral » du 3 janvier 1986 interdit les constructions et installations nouvelles sur une bande de 100 mètres à partir du rivage. Les schémas de mise en valeur de la mer (SMVM) doivent compléter cette loi en dépassant le cadre communal, où, par ailleurs, la mise en conformité des plans d'occupation des sols (POS) avec la loi littoral est très loin d'être accomplie. Mais les difficultés d'application de la loi littoral comme les lenteurs d'élaboration des SMVM limitent l'impact de ces dispositions.

**Localisation des plages de France
ayant fait l'objet d'une alimentation artificielle en sédiments**

Pour **la France métropolitaine**, il peut être rappelé que, en 1995, la capacité d'hébergement touristique des communes littorales représentait 37 % de la capacité française ; ce sont **treize millions de personnes** qui **occupent le littoral l'été** –soit une multiplication par plus de deux de la population locale et **trente millions de visiteurs par an** qui **se rendent sur le littoral**.

Votre Rapporteur se doit d'insister sur **les menaces concernant plus particulièrement les DOM-TOM**, en particulier, certains atolls de Polynésie, face aux changements climatiques. En effet, non seulement nombre de plages de ces territoires sont particulièrement menacées mais aussi certains territoires

eux-mêmes alors que l'attrait particulier de ceux-ci en a fait des lieux de tourisme extrêmement recherchés.

6. Les impacts des changements climatiques sur les espaces côtiers spécifiques

Au-delà des plages, sont également menacés les espaces deltaïques, les littoraux à lagunes, les marais maritimes, les mangroves et les récifs coralliens.

Votre Rapporteur évoquera brièvement à partir de l'exemple de la France, les menaces pesant sur chacune de ces catégories de site [📖 MIES].

a) Les espaces deltaïques

La Camargue, aménagée dans les années 1930, est d'autant plus vulnérable que sa tendance à s'affaisser sous le poids des sédiments qui la constituent n'est plus compensée par les apports alluviaux du Rhône du fait de l'aménagement de celui-ci.

Météo-France travaille sur **un modèle relatif au Rhône** qui mesure notamment l'impact des barrages.

Les marais salants de Salin-de-Giraud et d'Aigues-Mortes risquent d'être endommagés.

Toutefois, aucun modèle ne peut dire si la Camargue serait submergée en cas de montée du niveau des eaux.

b) Les littoraux à lagunes

Sous l'effet de l'élévation du niveau de la mer, les cordons littoraux qui isolent les lagunes peuvent rouler sur eux-mêmes en direction de la terre, s'amincir et se fractionner.

C'est le cas sur **la côte du Languedoc** où les étangs deviennent de plus en plus salés, ce qui modifie leur flore et leur faune, perturbe les activités agricoles voisines mais peut favoriser le développement de l'aquaculture.

c) Les marais maritimes

Ces étendues vaseuses sont alternativement couvertes et découvertes par les marées.

Les côtes de la Manche et de l'Atlantique comprennent de tels marais dont beaucoup ont été endigués et transformés en polders ♦.

Selon le niveau d'élévation de la mer, ces marais connaîtront la disparition par submersion, leur maintien après déplacement vers l'intérieur des terres, voire leur extension s'ils bénéficient d'une forte sédimentation verticale et latérale.

Or, en France, vu l'abondance de la vase qui arrive jusqu'à la mer – échappant, contrairement au sable et aux galets, aux aménagements des fleuves – il est probable que **le marais Charentais, le marais Poitevin, la baie de Somme et la baie du Mont Saint-Michel s'étendraient aux dépens de la mer.**

d) Les mangroves ◆

Les mangroves, constituées de forêts de palétuviers, prospèrent dans les vasières littorales chaudes situées sous les tropiques ; elles sont tantôt inondées, tantôt exondées.

Elles sont situées en particulier, en Guyane (55.000 ha), en **Nouvelle-Calédonie** (20.000 ha), en **Guadeloupe** (9.000 ha) et à la **Martinique** (700 ha).

Comme pour les marais maritimes, l'élévation du niveau de la mer peut provoquer trois types différents d'évolution. De même qu'en France métropolitaine, les DOM-TOM devraient connaître **une extension des mangroves**, en particulier en Guyane, largement pourvue par la vase de l'Amazonie amenée par un courant longeant la côte guyanaise, ou encore à **Mayotte**. Dans **les Antilles**, les mangroves sont menacées de déforestation et non de submersion.

e) Les récifs coralliens

En principe, la croissance verticale des coraux (plusieurs millimètres par an) devrait accompagner l'élévation du niveau de la mer et protéger, comme par le passé, les atolls qu'ils entourent.

Mais cela suppose **une vie corallienne** active, ce qui n'est pas forcément le cas du fait de la pollution des eaux par des effluents urbains (**Tahiti**), par des extractions massives de matériaux ou de minerais (**Tahiti, Nouvelle-Calédonie**) ou du fait de l'augmentation de la température des eaux.

Il suffit d'un à trois degrés supplémentaires pour dépasser la limite thermique supérieure supportée par les coraux (vers 29° à 30°).

Depuis une dizaine d'années, les coraux blanchissent en masse, ce qui témoigne de leur mort. Selon certaines estimations, **environ 80 % des atolls seraient morts**, même en Méditerranée, par suite des fluctuations du climat, ce qui constituerait **un désastre écologique**.

L'autre effet de l'augmentation de température est de multiplier **les cyclones** qui engendrent de très hautes vagues balayant les accumulations sableuses (les *motu*) portées par la couronne corallienne.

Des tempêtes plus fréquentes ne laisseraient pas aux *motu* le temps de se reconstituer et les **atolls eux-mêmes et leur habitabilité seraient menacés.**

7. Des phénomènes spécifiques liés à l'élévation du niveau de la mer

Enfin, votre Rapporteur tient à évoquer brièvement trois phénomènes qui pourraient accompagner l'élévation du niveau de la mer : la salinisation, la réduction du volume des eaux souterraines, l'accroissement de la fréquence des surcôtes.

a) La salinisation

Les estuaires de la Seine, de la Loire et de la Gironde pourraient subir une intrusion saline plus prononcée.

Par ailleurs, pour l'estuaire de la Loire, il a été estimé qu'une élévation du niveau de la mer de 0,60 m entraînerait une migration du front de salinité vers l'amont du fleuve d'environ un kilomètre. Ce qui est à comparer avec la dizaine de kilomètres de déplacement de ce front au cours des vingt dernières années du fait des travaux d'amélioration de la navigation dans l'estuaire de la Loire.

La Camargue subirait aussi une salinisation accrue.

b) La réduction du volume des eaux douces souterraines

Le sous-sol de l'espace littoral se caractérise par **la rencontre entre deux masses d'eau** : l'eau de mer, salée et immobile, et l'eau douce de l'aquifère continental qui s'écoule sur l'eau salée.

En cas d'élévation du niveau de la mer, l'interface entre les deux masses d'eau se déplacerait vers la terre. D'où un certain nombre de conséquences diverses selon les caractéristiques des lieux considérés.

Cela risque de se traduire, **en Camargue**, par un morcellement des aquifères d'eau douce, ou encore une arrivée de l'eau salée sous certains puits ; ces phénomènes étant accélérés par des prélèvements d'eau inconsiderés.

Plus gravement, **en Polynésie**, la réduction du volume des lentilles d'eau douce pourrait poser **de véritables problèmes d'approvisionnement pour les habitants des atolls**.

Quant aux **terres littorales basses et planes**, les drainages devront y être renforcés, de même que les pompages dans **les polders**.

Enfin, **les agglomérations urbaines** proches du littoral pourraient être gênées dans l'évacuation de leurs eaux usées, du fait de l'élévation du niveau de la mer par rapport au niveau des collecteurs.

c) L'accroissement de la fréquence des surcôtes

Des ondes de tempêtes, des marées de vive-eau(1), des effets de résonance liés à la configuration du littoral marin, conjugués à l'élévation du niveau de la mer, pourraient entraîner des surcôtes bien plus fréquentes que par le passé comme le montrent les exemples ci-dessous.

Fréquence accrue des surcôtes

| Lieu Elévation du niveau de la mer | Estuaire de la Loire | Côte occidentale du Cotentin | Rivages de la mer du Nord |
|--|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| + 0,30 m | + 1,40 m 10 ans (100) (2) | 10 ans (100) | - |
| + 0,50 m | - | - | + 3 m 80 ans (500) |

D'une manière générale, et comme souvent au cours du présent rapport, votre Rapporteur tient à souligner que **les retombées futures des changements climatiques, pour importantes et graves qu'elles semblent devoir être parfois, restent en deçà des dommages déjà infligés par l'homme à la nature quant à plusieurs des phénomènes évoqués.**

(1) *Marée de nouvelle ou de pleine lune pendant laquelle la différence entre la hauteur de la pleine mer et celle de la basse mer –le marnage- est maximale.*

(2) *Exemple de lecture du tableau : si le niveau de la mer s'élève de + 0,30 m au cours du XXIème siècle, une surcôte de 1,40 m serait à redouter tous les 10 ans au lieu de tous les 100 ans actuellement.*

Il en va ainsi notamment pour la submersion des espaces deltaïques privés de sédiments fluviaux par **les barrages et les aménagements des fleuves**, ou pour la disparition des mangroves davantage menacées de **déforestation** que de submersion, ou pour la mort des récifs coralliens victimes de diverses **pollutions**. De même, le renforcement de l'érosion des plages par le recours aux **cordons d'enrochements** renforce l'érosion de la plage qu'ils sont censés protéger ; la salinisation de l'estuaire de la Loire résulte de **travaux d'amélioration de la navigation**, et la réduction du volume des eaux douces souterraines provient de **prélèvements excessifs**.

De même encore, en Italie, **Venise** ne s'enfonce pas à cause de l'élévation du niveau de la mer, mais du fait des marées, des pompages de l'eau et du pétrole effectués sous elle, ainsi que de l'envasement des canaux.


B. LES MODIFICATIONS DU CYCLE DE L'EAU

Les hydrologues estiment que **les conséquences des changements climatiques sur l'eau seront plus importantes que celles sur la température**.

1. Les précipitations

Cela se traduira par des changements importants du régime des **précipitations** et par un accroissement des **pénuries d'eau**.

L'augmentation de la température entraînera **une augmentation de la vapeur d'eau modifiant le cycle de l'eau**. Une molécule d'eau dans l'atmosphère étant recyclée en douze jours après évaporation, une plus grande quantité à recycler provoquera davantage de mouvements orageux, d'où **un climat plus erratique et des pluies plus abondantes**.

Le Professeur Alain PERRIER de l'INA P-G  a relevé que **les périodes 1955-1975 et 1975-1995 témoignaient déjà d'une accélération du cycle de l'eau**.

Avec l'augmentation de la température, les précipitations ont augmenté de 5% à 10% : de gros orages se forment sur les continents, les nappes phréatiques sont bien alimentées. En revanche, la gestion de l'eau en est rendue plus délicate : le contraste été/hiver est accentué, le stockage sous forme de neige ou de glace diminue, les pluies sont plus erratiques, les rivières sont plus sèches en été mais des écoulements plus rapides sont à gérer en cas d'orages, plus abondants qu'auparavant.

Ces évolutions auront **un impact direct sur l'agriculture** qui se trouve au cœur du cycle de l'eau comme l'ont rappelé M. Ghislain GOSSE et M. Pierre STENGEL, INRA ☞.

2. La fonte des glaces

Souvent évoquées comme conséquence du réchauffement climatique, les fontes des glaciers de montagne, des glaces de mer, de celles de l'Arctique ou de l'Antarctique sont l'objet d'appréciations diverses et, souvent, de prévisions inquiétantes, voire alarmistes.

Dans ce domaine, les travaux du Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement (L.G.G.E.) de Grenoble font autorité (M. Robert DELMAS ☞).

a) Les glaciers de montagne

Au cours du siècle dernier, les petits glaciers ont nettement reculé.

Pour M. Alain PERRIER de l'INA P-G ☞ déjà cité ci-dessus, la fonte des châteaux d'eau naturels alimentant les pays nordiques pourrait entraîner **la hausse de 10 cm, voire de 30 à 40 cm en 100 ans du niveau de la mer.**

Pour suivre cette évolution, dans le cadre d'un programme européen, Glaciorix, portant sur un parallèle entre les Alpes et la Scandinavie, le CEMAGREF observe un bassin glacier des Alpes comme l'ont indiqué M. Pierrick GIVONE et M. Jean-Louis VERREL ☞.

b) Les glaces de mer

La fonte de celles-ci n'entraînerait **aucune variation du niveau de la mer**, ce que chacun peut vérifier aisément en observant la stabilité du niveau du liquide contenu dans un verre au cours de la fonte d'un glaçon.

c) Les glaces de l'Arctique

Pour M. Yves CARISTAN du BRGM ☞, **l'hypothèse de la fonte des calottes glaciaires et leur précipitation dans l'océan est absurde**. Il a relevé que la fonte totale des calottes glaciaires prendrait plusieurs siècles. De plus, les calottes glaciaires ont une très grande inertie et la glace n'est pas cassante ; au contraire, elle évolue dans un milieu ductile.

M. Laurent TURPIN, du LSCE ☞, a rappelé que la banquise arctique semble reculer.

d) Les glaces de l'Antarctique

Dans la mesure où la banquise antarctique plonge sous le niveau de l'eau actuel, sa diminution pourrait poser **un problème de passage de seuil** plutôt que d'évolution graduelle.

Cependant, Mme Anny CAZENAVE, du CNES ☞, a souligné que **les observations ne suggèrent aucune fonte significative de l'Antarctique sur l'ensemble du XX^{ème} siècle.**

Quant à l'évolution à venir, il n'existe pas de consensus de la communauté scientifique sur ce point.

Selon M. Paolo Antonio PIRAZZOLI du C.N.R.S. ☞, **la calotte antarctique ne devrait pas commencer à fondre avant le XXII^{ème} siècle**, tandis que la fonte du **Groenland** pourrait entraîner une hausse du niveau de la mer de 6 mètres au cours des prochains siècles.

C. LE MILIEU MONTAGNARD

1. Les changements climatiques en montagne

Même si les changements climatiques annoncés s'accompagnaient d'une augmentation des précipitations donc de la neige en altitude, une interrogation demeurerait sur le niveau d'altitude à partir duquel s'observerait ce phénomène, étant entendu que l'augmentation de température devrait entraîner la fonte des glaciers et la remontée vers les sommets de la limite de l'enneigement.

Là encore, votre Rapporteur centre ses observations sur le cas de **la France**, étudié, en particulier, par la MIES.

La mission interministérielle de l'effet de serre (MIES), dans son rapport sur les *Impacts potentiels du changement climatique en France au XXI^{ème} siècle (1)* ☞, s'est également penchée sur **les impacts climatiques en montagne**, en notant tout d'abord que les informations résultant des modèles climatiques ne permettaient pas de cibler une zone de dimensions plus restreintes que le massif alpin.

Toujours est-il, qu'il a été relevé que les communautés vivant en montagne devraient se préparer à **des stratégies de gestion des ressources hydriques assez souples**. A la fonte des glaciers et à celle du permafrost ☞,

(1) *Contribution de Lucien TESSIER, laboratoire de Botanique historique et de Palynologie, GRS CNRS, 6100.*

viendrait s'ajouter un effet saisonnier se traduisant par **des premières neiges plus tardives** et par **une réduction de la durée de l'enneigement**.

Les zones situées vers 1500 mètres seraient les plus sensibles, même en cas de très faibles changements de température. Les fontes de neige plus précoces accroîtraient **la sécheresse estivale** et **les risques d'incendies** (en particulier dans les Alpes du Sud). Les étés plus chauds et secs affecteraient **les écosystèmes**.

Mais, au-delà de l'enneigement, l'importance et la fréquence des **événements extrêmes** (tempêtes, pluies diluviennes entraînant des coulées de boue, chutes de rochers, avalanches) risquent de perturber tout le contexte montagnard.

De plus, comme les régions de montagne concentrent leurs écosystèmes, jouissant d'une très grande biodiversité, sur de faibles superficies, **les plantes** qui peuvent s'adapter en se déplaçant risquent d'être perturbées, en particulier les espèces florissant tôt et les petites populations isolées.

Les espèces les plus menacées seraient celles qui vivent au contact des névés (1), dans les dépressions et les communautés des tourbières, car elles ne bénéficieraient plus de la protection de la neige contre le gel en hiver ni de la bonne alimentation en eau que leur procure la fonte du printemps.

Il serait aussi observé **une modification profonde de la composition des forêts**.

Toutes les ceintures de végétation se déplaceraient vers les sommets compromettant probablement une part importante des espèces endémiques de la flore alpine.

Dans les Alpes du Sud, suisses, italiennes et françaises, ce déplacement en altitude pourrait être associé à un déplacement vers le nord des espèces méditerranéennes.

2. La couverture neigeuse

Des estimations de l'évolution de la couverture neigeuse ont pu être réalisées à partir du modèle CROCUS (de Météo France) et du système d'analyse météorologique SAFRAN à propos des Alpes (23 massifs) et des Pyrénées (11 massifs). Ces projections ont été testées, depuis une dizaine

(1) *Partie amont d'un glacier où la neige, évoluant par tassement et fusion partielle, se transforme en glace.*

d'années, en les comparant aux mesures des hauteurs de neige effectuées sur plus d'une soixantaine de sites dans les Alpes et dans les Pyrénées.

A partir de là, il a été supposé que la température allait augmenter de 1,8° dans les Alpes et dans les Pyrénées, pour étudier les conséquences de ce phénomène sur l'enneigement à 1500 mètres. Les modifications sont retracées dans le tableau ci-après :

| Enneigement | diminution en % | diminution en jours |
|--------------------|-----------------|---------------------|
| Région | | |
| Alpes du Nord | 20 à 25 | 30 |
| Alpes du Sud | | |
| - Dévoluy | | |
| - Haute-Tarentaise | 30 | 37 |
| - Queyras | | |
| - Alpes azuréennes | | |
| - Ubaye | 40 | 48 |
| - Mercantour | | |
| Pyrénées | Jusqu'à 45 | 30 à 49 |

Les altitudes les plus basses seraient particulièrement concernées, alors qu'**au dessus de 2000 mètres et, a fortiori de 2500 mètres, l'enneigement en hiver serait peu touché.**

De même, **la diminution du nombre de jours où la hauteur de neige est supérieure à 20 cm** serait réelle au dessus de 2400 mètres, notamment, lors des périodes très touristiques allant du 20 au 31 décembre et du 15 au 30 avril ; ce phénomène étant davantage marqué en hiver qu'au printemps.

L'étude citée de la MIES considère que « *des problèmes se poseraient aux stations ne disposant pas de domaine de haute altitude (quel que soit le massif : Alpes, Pyrénées, Massif Central, Jura, Vosges). Il n'y a pas de régions favorisées ou défavorisées a priori. Certes, l'enneigement est plus faible à altitude égale dans les Alpes du Sud et les Pyrénées que dans les Alpes du Nord, mais les stations de sports d'hiver sont également situées plus haut.* ».

Même si en France, le réflexe consiste à penser d'abord aux conséquences les plus apparentes pour le tourisme de la diminution de l'enneigement, à savoir le manque de neige dans les stations de sport d'hiver, votre Rapporteur insiste à nouveau sur d'autres conséquences que l'enneigement lui-même : **les avalanches, les crues, les glissements de terrain, la gestion de l'eau...**

D. LA FRÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS CLIMATIQUES EXTRÊMES

Les modèles de climat ne sont pas encore assez fins pour décrire les tempêtes.

Les deux tempêtes survenues en Europe et notamment sur la France, les 26 et 27 décembre 1999, ont sensibilisé l'opinion publique métropolitaine à la violence de ce type de phénomène, déjà connue des DOM-TOM.

A l'occasion de ces événements, il a été constaté qu'il n'existait **pas beaucoup d'études de l'impact des changements climatiques sur les phénomènes extrêmes.**

Toutefois, des observations tirées des **forêts** déjà exploitées dans le passé ont permis de relever des ruptures dans les temps de repousse et de les comparer aux destructions survenues sur les pentes ou à la lisière des forêts ou en enfilade à l'intérieur des forêts.

A la suite des tempêtes de 1999, la communauté scientifique avait fait savoir par un communiqué qu'il était impossible de relier ces événements aux changements climatiques tout autant que d'exclure une liaison entre ces faits.

En fait, **un passage à un état différent de l'état actuel ne peut être exclu** tant en terme de fréquence que d'intensité de ces phénomènes a souligné M. Jean-François MINSTER, Président de l'IFREMER ☞.

Pour Mme Anny CAZENAVE du CNES ☞, il convient de s'inquiéter davantage de **la récurrence plus fréquente d'événements climatiques extrêmes** (tempêtes, précipitations intenses et inondations) que de la hausse, finalement assez modérée du niveau de la mer.

Par ailleurs, pour une analyse très détaillée des **risques naturels** (1), votre Rapporteur se contentera de renvoyer au rapport de M. Christian KERT, député, fait au nom de l'OPECST dans lequel il évoquait déjà nombre de

(1) « Les techniques de prévision et de prévention des risques naturels en France » OPECST. Assemblée nationale n° 1540 (11^{ème} législature), Sénat n° 312 (1998-1999). Le texte intégral de ce rapport figure dans le Cd-rom sur les rapports de l'OPECST de 1985 à 2001 joint au présent rapport.

difficultés que les changements climatiques envisagés ne pourront qu'aggraver d'où une attention renouvelée à porter aux recommandations adoptées en 1999 par l'OPECST.

Enfin, la multiplication d'événements climatiques extrêmes ne peut qu'entraîner **des modifications dans le secteur des assurances** pour les risques généraux comme pour les calamités agricoles et la création de nouveaux produits comme l'a indiqué M. Thierry MASQUELIER, Président de la Caisse Centrale de Réassurance lors de son audition ☞.

E. LA SITUATION DES DOM-TOM

Votre Rapporteur a eu le souci de connaître la situation actuelle dans les DOM-TOM et les craintes éventuelles suscitées par les changements climatiques à venir. C'est pourquoi il a adressé un courrier à l'ensemble des parlementaires de ces départements ou territoires pour les consulter à ce sujet.

Sur les treize courriers envoyés, six ont reçu une réponse dont des éléments particulièrement précis provenant du Député de **la Guadeloupe**, M. Philippe CHAULET, du Sénateur de **Nouvelle-Calédonie**, M. Simon LOUECKHOTE, et du Sénateur de **Saint-Pierre-et-Miquelon**, M. Victor REUX.

Par ailleurs, votre Rapporteur a entendu le sénateur de **La Réunion**, M. Paul VERGÈS ☞, particulièrement inquiet des changements climatiques à venir, compte tenu bien sûr des événements extrêmes que subit régulièrement la Réunion avec des pluies diluviennes et des vents violents déjà dans les conditions climatiques actuelles, comme vient encore une fois de le montrer le cyclone Dina le 22 janvier 2002. C'est ce qui a amené le Parlement à voter la proposition de loi du sénateur Paul VERGÈS proclamant la lutte contre l'intensification de l'effet de serre, priorité nationale et décidant la création d'**observatoires climatiques nouveaux dans les DOM-TOM**.

A l'occasion de ces auditions, votre Rapporteur s'est aussi préoccupé des **relations entre climat et santé outre-mer**, notamment à l'occasion des auditions du Professeur François RODHAIN ☞, du Professeur Jean-Pierre BESANCENOT ☞ et du Docteur Christine ROMANA ☞.

De plus, au cours de son audition, M. Daniel CARIOLLE, Directeur de la Recherche de Météo-France ☞, a estimé qu'il n'est pas certain que le changement climatique provoque davantage de cyclones dans les DOM-TOM.

IV. BIODIVERSITÉ ET GAZ À EFFET DE SERRE

Il est parfois affirmé qu'on ne s'occupe de biodiversité que parce que l'idée de sa disparition fait peur.

Cette idée repose-t-elle sur une réalité ?


L'augmentation des émissions de gaz à effet de serre et les modifications qu'elle entraîne sur la température et les précipitations ne pourront manquer d'influer sur la biodiversité.

Dans la mesure où ce lien, pourtant très direct, est généralement peu perçu, votre Rapporteur a tenu à expliciter l'ampleur de la menace comme la nature de l'objet menacé en insistant sur **la nécessaire préservation de la biodiversité, et sur les interrogations relatives au rythme d'adaptation des espèces face aux changements climatiques.**

Dès à présent, il convient de se demander si les milieux naturels vont pouvoir absorber le choc de ces modifications et donc d'évaluer l'ampleur de celles-ci.

L'homme a toujours modifié son milieu et cela ne fera que s'accroître avec la croissance démographique prévue pour le présent siècle, mais **le milieu ne connaît-il pas des limites aux actions que l'homme lui impose ?**

A. LA MENACE SUR LES RESSOURCES BIOLOGIQUES

D'après la conclusion d'un rapport de l'Académie des Sciences intitulé « *Biodiversité et environnement* » (n°33 - juin 1995)  « *en imposant une exploitation accélérée et de profondes transformations de l'environnement, l'expansion économique et démographique du XX^{ème} siècle a créé une rupture. Les ressources biologiques sont menacées. Parallèlement, les hommes qui ont massivement quitté la campagne ont perdu leurs racines et leurs liens avec la nature. Aujourd'hui, la société constate qu'elle ne peut pas concevoir son avenir sans un monde vivant, riche et varié, pour des raisons économiques, écologiques, sociales et culturelles* ».

Une telle analyse venant du cercle le plus autorisé ne peut manquer d'attirer l'attention. La prise de conscience de l'importance des conséquences de l'intensification de l'effet de serre est intervenue après le rapport cité. Pour autant, celui-ci signale déjà une situation très dégradée.

Pourquoi la biodiversité est-elle si précieuse ? Et d'abord, qu'est-ce que la biodiversité ?

La biodiversité est fondée sur la qualité et la quantité des êtres vivants présents sur un territoire. Il s'agit aussi bien de la diversité génétique intraspécifique que de la multiplicité des espèces, l'abondance relative de chacune, la variété de leur organisation en écosystèmes différents que de la complexité des relations entre ces écosystèmes.

Or, ce qu'a constaté l'Académie des Sciences, c'est l'instauration d'une coupure entre nature et culture avec le développement de la société moderne. Certes, pendant des siècles, l'homme a tiré les richesses nécessaires au développement de son mode de vie de sa modification des relations avec les autres espèces. Il a puisé largement dans un stock de ressources biologiques. Mais celui-ci n'étant pas inépuisable, **l'homme n'a d'autre choix aujourd'hui que de redécouvrir sa solidarité avec son environnement.**

Pour resituer la notion d'espèce, dont plus d'un million seulement ont été identifiées à ce jour sur, probablement, plusieurs dizaines de millions, il faut noter que les activités humaines peuvent transformer rapidement, jusqu'à les faire disparaître, les êtres vivants en un espace donné.

Contrairement à l'apparition des espèces, qui résulte d'évolutions au cours de millions d'années, leur disparition, du fait de l'action de l'homme, peut ne prendre que quelques siècles, voire nettement moins.

L'impact pour les espèces de la concentration en gaz carbonique dans l'atmosphère interviendra avant qu'il ait été possible d'identifier précisément le rôle de la biodiversité dans les écosystèmes.

L'Académie des Sciences a souligné dans son rapport qu'**avec la prise de conscience de la limite des ressources naturelles, le temps de l'exploitation sans contrôle de celles-ci devait être considéré comme révolu.** Elle a noté à propos du développement durable que *« la question de la biodiversité est aujourd'hui sortie du cabinet du scientifique, elle se pose à chacun »*.

Et votre Rapporteur éprouve le même sentiment pour la question des changements climatiques.

B. LES COMPOSANTES DE LA BIODIVERSITÉ

Il doit être rappelé brièvement **les principales composantes de la biodiversité** qui regroupent les micro-organismes, le milieu marin et les milieux continentaux.

Pour **les micro-organismes**, ceux-ci n'ont été découverts qu'au XVII^{ème} siècle avec l'apparition du microscope, alors que l'homme les utilisait depuis longtemps sans vraiment savoir qu'il agissait avec la complicité d'êtres vivants minuscules. Par exemple, lorsqu'il fabriquait du pain, de la bière ou du vin grâce à la fermentation.

Il est probable qu'aujourd'hui, **seulement 10 % des espèces de micro-organismes sont connues**, soit quelques centaines de milliers sur un total chiffré en millions. L'ignorance de l'homme est encore grande à ce sujet. Or, **dans les grands cycles biogéochimiques globaux comme celui du carbone, la contribution des micro-organismes est essentielle**. Par exemple, ils sont seuls à même de pouvoir fixer l'azote atmosphérique, assurer la nitrification et la dénitrification, de même que certaines dépollutions.

De plus, **le picoplancton marin participe à la photosynthèse, à la fixation du carbone atmosphérique et donc, de manière importante au cycle du carbone fixé par les océans**.

Sans entrer dans l'historique des progrès de la connaissance de l'homme face aux micro-organismes, notamment avec le développement des vaccins, ou le séquençage de l'ADN, l'Académie des Sciences relève qu'encore aujourd'hui, l'ignorance sur ce sujet demeure très grande et que la tâche à accomplir est à la mesure de cette lacune.

En reliant cette observation aux changements climatiques, cela peut être rapproché du problème du **paludisme** chez l'homme où un micro-organisme parasite et pathogène contourne les défenses immunitaires de l'organisme hôte en changeant ses protéines de surface, anticipant ainsi la production d'anticorps.

Si, comme de nombreuses hypothèses le soulignent, le réchauffement climatique risque d'entraîner dans certaines régions l'extension du paludisme, des recherches sur ce thème en vue de la découverte d'un vaccin deviendront primordiales.

Toujours à propos de questions liées aux changements climatiques, l'Académie des Sciences relève que **les sols comme les eaux sont des systèmes complexes dans lesquels le rôle de la biodiversité est peu connu**. Comme déjà développé plus haut, même si la pratique agricole a développé une technique de gestion des sols, ce n'est pas pour autant qu'elle en maîtrise tous les mécanismes. L'ignorance est encore grande aussi pour les lacs, les fleuves et les nappes phréatiques, d'ailleurs modifiés par les apports chimiques résultant des activités agricoles ou industrielles.

C. LA PRÉSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ

Dans les conditions décrites ci-dessus, **l'Académie des Sciences recommande une gestion conservatoire des écosystèmes** dans la mesure où une évaluation approfondie du rôle de l'abondante richesse biologique manque encore.

1. L'écosystème marin

En ce qui concerne **le milieu marin**, la pêche prélève sur les espèces des contingents dont le renouvellement n'est pas *a priori* garanti. D'où les mesures de préservation de populations qui se multiplient malgré les réactions des milieux économiques qui en tirent leurs revenus. Là encore, le changement climatique global susceptible d'intervenir peut jouer un rôle considérable et cela même si l'amplitude des modifications reste faible. Il a été ainsi noté, à partir d'études systématiques menées par les stations marines situées sur la Manche, qu'**une élévation d'un demi-degré de la température moyenne annuelle de l'eau suffit à modifier les champs d'algues, donc à faire régresser les poissons d'origine boréale**, faisant apparaître des espèces lusitaniennes perturbant ainsi la conduite et la production de la pêche.

L'Académie des Sciences note « *à la fin de ce XX^{ème} siècle, l'humanité commence à réaliser qu'en dépit de sa masse énorme, l'océan n'est ni une ressource infinie, ni un système immuable* ».

Plusieurs grands problèmes ont été identifiés, à commencer par la température qui est un facteur essentiel de la richesse biologique. Déjà, **les systèmes coralliens ont été très touchés et une évaluation générale du rôle écologique de la richesse biologique des zones littorales (lagunes, estuaires, côtes, mangroves, récifs coralliens, marais) s'impose**.

L'Académie des Sciences recommande des mesures de régulation appliquées sous l'égide des pouvoirs publics, telles celles qui ont prouvé leur efficacité pour la protection du milieu naturel dans **la Baie de Somme**.

Elle insiste aussi sur **les effets de la pêche** de plus en plus fréquente à des profondeurs de 1.000 à 2.000 mètres qui prélève des tonnages considérables de poissons dans des stocks dont ni l'ampleur, ni la diversité, ni le taux de renouvellement ne sont connus avec précision.

Encore plus important, le rôle joué par **le picoplancton** qui serait peut-être **responsable d'un bon cinquième de la fixation de carbone par l'océan**, même si cela n'a été mis en valeur que depuis une dizaine d'années.

Il a été souligné dans la première partie du présent rapport le rôle climatique joué par les immenses masses d'eau en perpétuel mouvement et le rôle des courants ; les températures et les êtres vivants qui peuplent ces eaux, le recyclage du gaz carbonique et la photosynthèse en dépendent très largement.

De même, les connaissances de l'homme ont encore montré leurs limites lors de la découverte récente d'un monde biologique très divers à proximité des sources chaudes sous-marines profondes. En effet, pendant longtemps, l'absence de vie dans les grandes profondeurs était considérée comme établie.

Ce rapide survol a permis à votre Rapporteur d'insister sur l'intérêt qu'il y aurait à pouvoir **évaluer les conséquences possibles d'un changement climatique global à partir d'inventaires précis de données quantitatives à la fois dans l'espace et dans le temps**. A partir de cela, il serait peut-être envisageable de **développer des modèles de fonctionnement de l'écosystème marin**. A cet égard, il doit être indiqué que de tels inventaires permettraient d'évaluer les impacts de catastrophes. Curieusement, à cet égard, les marées noires dues au naufrage du *Torrey Canyon*, en 1967, et de *l'Amoco Cadiz* en 1978 ont vu leurs effets totalement dissipés au bout d'une dizaine d'années ; la faune et la flore marine ayant recolonisé tous les milieux où le pétrole s'était déposé.

Toutefois, il ne faudrait pas en tirer la conséquence que le vivant se reconstitue toujours. En effet, en l'occurrence, la transformation progressive des produits polluants a sans doute été permise par l'arrivée de l'extérieur d'effectifs suffisants de micro-organismes pour agir sur ces polluants. Mais les connaissances sur les divers paramètres en cause (nature des milieux pollués, nature des agents polluants, aptitude et effectif des êtres vivants concernés) sont encore très lacunaires.

Dans le domaine de l'écosystème marin comme dans celui du changement climatique, il existe un décalage entre l'urgence des réponses à apporter face à la croissance démographique et à la pression qu'elle exerce sur le milieu marin et l'impossibilité de disposer immédiatement des connaissances considérables pourtant nécessaires à l'orientation des décisions futures.

Il a été surtout souligné par l'étude déjà citée que certaines espèces ont un rôle clé dans le maintien de la richesse biologique, que la disparition d'espèces est assez rare en milieu marin grâce aux effectifs très élevés et à la large dispersion possible d'individus mais également que les organismes marins sont fragiles. Par exemple, la pollution et la pêche excessive provoquent des changements massifs et à longue distance dans les écosystèmes marins.

Comme cela a été indiqué à l'occasion de plusieurs auditions, **la mer Méditerranée présente aujourd'hui des écosystèmes très dégradés** et une pollution importante.

Pour sa part, la biodiversité marine du Pacifique et des régions Australes représente une richesse biologique tout à fait exceptionnelle dont l'exploitation devrait être accélérée. Dans ces zones, peuvent être analysées mieux qu'ailleurs les conséquences biologiques des transformations climatiques majeures (phénomène *El Niño*, dégénérescence des systèmes coralliens...).

2. L'écosystème continental

En ce qui concerne **les milieux continentaux**, l'Académie des Sciences a souligné que **l'homme a tendance à percevoir de plus en plus les variations climatiques qui sont des phénomènes naturels comme des catastrophes**. En même temps, *« l'homme prend de plus en plus de risques en contradiction avec son espoir de s'installer dans la durée »*.

Bien entendu, **la préservation de la biodiversité concerne directement les grandes forêts** et notamment les forêts tropicales qui renferment des milliers, voire des millions d'espèces inconnues.

La communauté scientifique insiste souvent sur le fait que disparaît sous nos yeux un patrimoine considérable avant même que sa richesse n'ait pu être évaluée.

Même si, **en France**, des modifications importantes des écosystèmes interviennent, aucune menace grave ne pèse pour l'immédiat ni sur le blé ni sur des espèces de valeurs économiques et stratégiques reconnues. La société peut y être tentée de se concentrer sur certaines espèces en laissant de côté des espèces considérées comme secondaires.

Au total, le nombre des variétés en culture a diminué ainsi que la diversité des produits parvenant aux consommateurs. Ce mouvement de plus est univoque car **le consommateur n'est plus en mesure par ses choix d'orienter les producteurs en réagissant aux produits proposés**.

Et la question se pose de savoir si le marché, après avoir poussé à l'uniformisation des produits, pourrait maintenant concourir à la promotion de la biodiversité.

Mais pour apprécier toutes ces évolutions, la complexité des situations et leur multitude rend difficile un jugement global. En effet, des facteurs aussi divers et complexes à croiser que le temps, l'ampleur des stocks et la perception de la valeur de la ressource doivent se combiner. Ainsi, les

prélèvements très rapides peuvent entraîner des pertes définitives de ressources biologiques. Cela sera d'autant plus important que le stock sur lequel s'opère le prélèvement est réduit.

3. Les critères de préservation d'une espèce ou d'un écosystème

Enfin, **la société n'est pas toujours à même de percevoir l'intérêt de la préservation d'une espèce.** A cet égard, l'Académie des Sciences note que le citoyen moyen sera davantage porté à se mobiliser pour la préservation des grands mammifères que pour les algues cavernicoles.

Face à cette complexité, une première attitude peut consister à éviter les destructions indifférentes et à organiser un maintien de la ressource biologique, même s'il ne peut s'agir de refermer artificiellement sur eux-mêmes des écosystèmes car cela va à l'encontre de l'idée même de biodiversité puisque cela signifierait qu'un écosystème est un ensemble naturel qui, à un moment donné, atteint un équilibre définitif et idéal.

En effet, **il ne suffit pas de figer un écosystème pour en préserver la biodiversité.**

Par ailleurs, comme l'a souligné l'Académie des Sciences, il faut partir du constat que **la mutation d'une propriété du vivant, que la diversité génétique d'une population, constituent des assurances vis-à-vis des transformations du milieu** et que la même approche peut concerner les écosystèmes. **Ces caractéristiques joueront donc aussi face aux changements climatiques.** Cependant, au-delà des adaptations, encore faut-il que l'organisme puisse survivre. Pour apprécier l'état actuel de la biodiversité et les modifications subies par elles du fait du changement climatique, **il est nécessaire de disposer d'inventaires recensant à la fois la diversité génétique, les relations entre espèces et les relations entre celles-ci et leur environnement. Or, ces documents sont encore largement inexistant** et l'Académie des Sciences a souhaité que l'élaboration en soit confiée simultanément à des systématiciens, généticiens, écologues, paléontologistes, archéologues, géographes, historiens, informaticiens, ethnologues, sociologues...

Dans cette démarche, se retrouve la préconisation déjà exprimée de **la nécessité d'une confrontation de disciplines différentes pour appréhender les causes et l'impact des changements climatiques.**

A cet égard, il est intéressant de noter qu'une communauté scientifique de niveau international se constitue depuis plusieurs années en France, autour des problèmes de biodiversité.

Il est probable que, de plus en plus au cours des années à venir et du siècle qui vient de débiter, la croissance démographique et le développement économique, même devenu davantage durable, mobiliseront des espaces et des ressources nouvelles au détriment d'autres êtres vivants, et aussi au détriment des ressources naturelles.

Certains craignent une catastrophe écologique à partir du moment où le rythme de destruction d'origine humaine deviendra supérieur au rythme de renouvellement biologique.

Comme dans le changement climatique global, la question du seuil d'amorce de ce mécanisme est très importante car **aucun critère précis ne permet aujourd'hui de prévoir le moment ou le degré de franchissement du seuil.**

Là encore, comme pour le changement climatique, **lorsque les premières catastrophes apparaîtront, il sera trop tard pour réagir efficacement.**

4. Les moyens d'une action de préservation de la biodiversité

A l'occasion de ce débat sur la biodiversité, l'Académie des Sciences s'est interrogée sur la perception que les hommes pouvaient avoir de cette problématique et sur **la difficulté de traduire dans les textes législatifs et réglementaires des actions concrètes**, même si chacun s'accorde à reconnaître la nécessité d'approfondissement des connaissances, de protection et de libre évolution de la diversité. Mais, une chose est d'être attentif à celle-ci dans le cadre d'un débat axé sur ce thème et une autre de garder cette priorité à l'esprit lors de débats concernant, par exemple, les sujets économiques.

Enfin, au-delà des hommes politiques, l'Académie des Sciences souhaite **que tous les acteurs de la démocratie fassent preuve d'un sens des responsabilités accru** pour se sentir concernés aussi bien par la déprise agricole, la réhabilitation des paysages urbains, l'aménagement des cours d'eau et des forêts, l'entretien d'une vie sociale en montagne.

Il serait souhaitable que l'opinion prenne davantage position sur ces thèmes et que les entreprises et les institutions publiques puissantes manifestent aussi leurs préoccupations à cet égard, mais, dans ce débat comme dans celui sur le changement climatique global, **la complexité du sujet, ainsi que la discordance entre les échéances -ici les échéances politiques et biologiques- favorisent l'attente.**

L'Académie des Sciences elle-même récuse l'attentisme qui feindrait d'être justifié par la nécessité d'un approfondissement des

recherches. En effet, « *cet argument d'ignorance, prétexte à tous les immobilismes, est dépourvu de sens : on ne sait jamais tout . Cela n'empêche pas de réagir à une situation inquiétante en fonction de ce qui est connu et l'évaluation des effets de l'action permet de stimuler les recherches dans les domaines où l'ignorance est la plus gênante* ».

Une des difficultés dans la réaction de l'opinion publique est de distinguer entre les risques encourus et les risques imaginaires. Parmi les risques réels, figure **la destruction de la forêt tropicale** qui privera la recherche pharmaceutique de la découverte de molécules pharmacologiques actives extraites des végétaux alors que cette déforestation est surtout perçue par l'opinion comme une atteinte au « poumon de la planète », ce qui est une image inexacte.

D'autre part, même les conséquences de catastrophes naturelles, comme les grands incendies des forêts de pins dans les Landes survenus il y a quelques années, ne sont pas absolument prévisibles. Dans ce cas, toute une gamme de végétaux aux propriétés variées ont réapparu dans l'espace dégagé par le feu. Il n'y a donc pas eu disparition de la végétation, mais une nouvelle abondance végétale rendant l'endroit impénétrable pour l'homme.

Parmi les politiques nécessaires pour l'évaluation de la biodiversité, **la nécessité de préserver des espèces diverses d'arbres forestiers** n'est apparue sur la scène internationale et d'ailleurs surtout européenne, qu'au cours des années 1990 et c'est alors que des règles légales et techniques de préservation de la diversité ont été édictées et mises en pratique. Il reste à étendre cette préoccupation à d'autres écosystèmes.

Bien évidemment, dans son rapport de 1995, l'Académie des Sciences avait tiré de son étude la nécessité de plusieurs mesures d'urgence et, parmi celles-ci, figurait **la création d'un réseau d'observatoires permettant d'établir des inventaires biologiques et d'assurer la surveillance écologique du territoire en liaison avec son aménagement.**

Elle avait aussi préconisé la création d'**un programme national de recherche sur la biodiversité**, de même qu'**une politique nationale de formation** dans les programmes de différents niveaux de l'enseignement : du primaire au supérieur en passant par les collèges et les lycées, et en souhaitant que cette large action de formation soit relayée par les médias en liaison avec l'Académie des Sciences.

L'Académie des Sciences avait également souhaité que la gestion des ressources repose sur **des débats** facilités par des arbitrages et des collaborations permettant des actions sur le terrain pour que les risques des décisions immédiates soient toujours compris et collectivement acceptés et assumés. Naturellement, **la contribution de la France aux efforts**

internationaux devait être privilégiée, notamment pour les riverains de la mer Méditerranée.

A cet égard, la France pourrait davantage manifester sa présence active et systématique dans les **grands programmes internationaux** en y déléguant et, ce point est essentiel, de façon concertée, ses scientifiques et ses diplomates.

L'Académie des Sciences avait souhaité enfin **que la biodiversité s'impose comme un enjeu de l'homme moderne** et soit intégrée à sa perception de l'environnement.

Cela lui semblait nécessaire à concrétiser dans une instance nationale qui se serait appelée **Coordination nationale de la biodiversité** à laquelle auraient pu, par exemple, être associés les ministères et l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.

D. LES RYTHMES DE L'ADAPTATION DES ESPÈCES

Les débats sur la biodiversité et l'intensification de l'effet de serre entraînant des changements climatiques posent aussi la question de l'adaptabilité des espèces animales ou végétales. Certains considèrent que le rythme du changement climatique permettra l'adaptation des espèces à travers notamment leur migration, mais d'autres insistent sur **la difficile compatibilité entre le rythme du changement climatique et ceux de l'adaptation des espèces**, notamment celui de leur migration.

C'est ainsi que dans son ouvrage « *La Terre menacée. Un laboratoire à risques* » (1), Stephen H. SCHNEIDER a contesté fortement la possibilité d'une adaptation des espèces face aux changements climatiques à venir.

Il a relevé que des découvertes récentes fondées sur l'étude des sols et des sédiments terrestres avaient remis en cause les théories formulées par DARWIN dans « *L'origine des espèces* » où il supposait que les diverses espèces s'étaient déplacées ensemble préservant ainsi la biodiversité. En effet, pendant les périodes de transition entre les ères glaciaires et les ères interglaciaires, les déplacements d'espèces ont suivi des rythmes inégaux et des directions différentes. C'est ainsi que, même si les essences d'arbres se déplaçaient, les forêts anciennes disparaissaient. Or, **le taux moyen de changement des températures de l'ère glaciaire aux temps interglaciaires a été évalué à environ 1°C tous les mille ans**. Même si le temps de réaction des différentes espèces est propre à chacune d'entre elles, ce rythme du passé n'a rien à voir avec ceux que provoquerait un futur changement rapide du climat, estimé à plusieurs degrés par siècle actuellement, sans compter que,

(1) *Hachette littératures. 1999.*

par rapport aux âges reculés, les taux d'extinction seraient renforcés par la fragmentation des habitats, les diverses pollutions et l'introduction d'espèces exotiques dans de nouveaux habitats.

Compte tenu de ces éléments, **l'adaptation à un changement climatique important devrait s'étendre sur plusieurs siècles alors même que le réchauffement actuellement envisagé interviendra sur une durée bien plus brève.**

En outre, la survie des espèces animales dépend non seulement de la température mais encore de la végétation et de la préservation de la communauté biologique à laquelle elles appartiennent ; la survie de certaines espèces isolées d'autres espèces ne pouvant être envisagée.


Pour illustrer ces difficultés, Stephen H. SCHNEIDER évoque la quasi-élimination de **la loutre de mer américaine** de la côte Ouest des États-Unis d'Amérique par les chasseurs de fourrure. Cette réduction de la population des loutres de mer entraîna la prolifération des oursins qui constituent la base de leur alimentation ; les oursins décimèrent les forêts de varechs géants, créant des fonds marins désertiques. En réaction, la protection ultérieure des loutres provoqua la diminution de la population d'oursins et la réapparition du varech ainsi que du poisson. Autre exemple, toujours dans l'ouest des États-Unis : **l'élimination des loups** a entraîné la prolifération des coyotes puis la mise au point de programmes pour limiter le nombre de ceux-ci, ce qui entraîna la multiplication des renards qui menaça les populations de gibier d'eau ; d'où les projets de réintroduction de populations de loups. Ces exemples illustrent qu'**il est difficile de connaître a priori les équilibres entre espèces et donc l'impact des modifications apportées à leurs conditions d'existence.**

Au-delà de ces exemples d'adaptation, il doit être rappelé que **les ressources biologiques globales** sont estimées à environ 10 millions d'espèces vivantes dans les seules **forêts tropicales humides**. Dans ces conditions, Stephen H. SCHNEIDER a relevé qu'avec un taux de destruction des forêts de 1 % par an, ce sont environ 27.000 espèces qui seraient condamnées par année, c'est-à-dire 74 par jour et 3 par heure ; sans compter que **certaines des espèces qui disparaissent n'ont pas encore été identifiées**, ce qui rend impossible l'appréhension de l'importance même de la disparition. Evidemment, la réduction de la superficie de la surface de la forêt tropicale ne fera qu'accentuer ce rythme déjà très impressionnant et sans commune mesure avec le taux d'extinction naturel qui devrait être, chaque année, d'une espèce pour un million. En outre, il peut être souligné que si d'importantes déforestations n'ont pas, par exemple, entraîné de grands nombres de disparitions d'espèces d'oiseaux en Amérique du nord-est, c'est parce qu'il s'y trouve peu d'espèces endémiques, alors que c'est tout le contraire dans les forêts tropicales. Stephen H. SCHNEIDER ne manque pas de rappeler que

ce « massacre planétaire est accompli par une seule espèce, l'homme, décidée à accroître sa population et à améliorer sa situation économique ».

Enfin, votre Rapporteur fait siennes les considérations conduisant Stephen H. SCHNEIDER à rappeler que *« l'interconnexion des écosystèmes dépasse les échelles discrètes qui caractérisent les entreprises privées, les Etats-nations, ou les pratiques de différentes disciplines. La gestion de l'environnement doit se faire à l'échelle du système géré »*. Et aussi que : *« Les problèmes d'environnement les plus graves du XXI^{ème} siècle ne se limiteront pas à la destruction des habitats, ni à la destruction de la couche d'ozone, ni à la pollution chimique, ni à l'invasion d'espèces exotiques ni aux changements climatiques considérés séparément : le grand problème sera celui de la synergie entre tous ces facteurs »*.

La réflexion sur les changements climatiques, et la diversité des thèmes abordés dans le présent rapport rejoignent ces préoccupations.

A partir des **études menées sur les papillons et les oiseaux migrateurs**, M. Denis COUVET, du Centre de Recherches sur la Biologie des Populations d'Oiseaux (CRBPO) du Museum national d'histoire naturelle , a rappelé qu'il avait été observé que, **sur vingt ans, les périodes de migrations avaient varié de dix jours environ.**

A cet égard, il peut être relevé que certaines migrations sont liées à la durée du jour et à la température, que tout ajustement des périodes de migrations d'une espèce peut interagir sur les périodes de migration d'une autre espèce et qu'une adaptation des espèces au changement de milieu requiert un effectif de population suffisant.

Pour sa part, le CRBPO a constaté de **Brusques changements dans l'implantation d'espèces d'oiseaux.**

Face à ces modifications, M. Denis COUVET a noté que **les changements climatiques en eux-mêmes ne sont pas nécessairement une cause d'extinction d'espèces, mais que le changement climatique peut constituer la dernière atteinte portée à l'espèce.**

Il a insisté sur **la dépendance de l'homme par rapport aux autres espèces et sur la nécessaire conservation de la biodiversité malgré le changement climatique, plus importante que le changement climatique en tant que tel.**

V. GAZ À EFFET DE SERRE ET SANTÉ HUMAINE

Les relations entre le climat et la santé conduisent à s'interroger sur les impacts des changements climatiques sur la santé humaine.

A. LES RELATIONS ENTRE LE CLIMAT ET LA SANTÉ

Les conséquences de changements climatiques sur la santé des hommes font partie des impacts les plus redoutés. Après avoir rappelé les liens entre santé et climat, votre Rapporteur rappellera les données aujourd'hui disponibles et donnera son sentiment sur les risques réels encourus.

Dans son récent ouvrage, « *Climat et santé* » (1), le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT rappelle que **la santé** peut être définie comme « *un état de l'organisme qui en permet l'ajustement et le fonctionnement adéquats compte tenu des conditions endogènes et des facteurs de l'environnement* », soit « **la capacité de s'adapter à un contexte qui change** ».

Il souligne à quel point l'organisme est en contact direct avec l'air ambiant à travers la peau (moins de 2m²) et les alvéoles pulmonaires (90 m²) et que la santé est liée, et même subordonnée, à la stabilité du milieu intérieur de l'homme.

Cette fixité s'obtient notamment par des réactions au milieu conduisant souvent à dépasser la norme d'un état pour instituer de nouvelles normes de santé adaptées aux situations nouvelles.

Dès lors, cet auteur estime que **la nocivité d'un climat** se mesure à « *la vigueur des stress imposés par le milieu atmosphérique et l'intensité des réactions requises pour y faire face* ».

L'homme est amené à lutter contre le refroidissement (thermogenèse) ou contre l'échauffement (thermolyse).

A **Paris**, l'année se répartit à peu près entre sept mois de thermogenèse et cinq mois de thermolyse.

Selon cette approche, **trois grandes zones climatiques** existent à la surface de la planète : celles où l'hiver peut être permanent (les milieux polaires), celles sans hiver (les basses latitudes inter et subtropicales) et celles où l'hiver n'est jamais permanent (latitudes moyennes).

(1) « *Climat et santé* », Collection Médecine et société. Territoires et économie de la santé. PUF. Octobre 2001. 126 pages.

Mais, au-delà de la température, **l'humidité de l'air, son hygrométrie, a une incidence directe sur la santé**. Par exemple, un taux de 80 % d'humidité relative est très supportable vers + 15°C mais plus du tout à - 15°C ou + 30°C.

Comme, par ailleurs, l'homme adulte inhale dix fois plus d'air -en poids- qu'il n'absorbe de nourriture solide et liquide, **la présence dans l'air de gaz à effet de serre ne peut être sans influence sur la santé de l'homme**.

C'est ainsi, précise le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT, que *« toute augmentation du taux de CO₂ dans l'air ambiant ralentit la diffusion alvéolo-capillaire et perturbe la purification du sang »*, et ce phénomène peut atteindre des taux élevés dans certaines grandes villes.

Or, lorsque **l'agression bioclimatique** revêt un caractère excessivement violent ou trop répété, l'organisme humain n'arrive plus à compenser les pressions auxquelles son environnement le soumet. Il peut en résulter des troubles, la maladie, voire la mort.

Des exemples en sont fournis par des coups de soleil, des gelures, des réactions inadéquates, des altérations de l'état général (coup de chaleur avec troubles neurologiques), des déshydratations, des cancers (ajustement anarchique de l'organisme à l'environnement).

Pour autant, **le climat n'est pas responsable de toutes les maladies constatées dans une région donnée**. Par exemple, ce n'est pas le climat chaud et humide qui génère le paludisme mais bien la virulence du moustique agent de propagation -vecteur- de cette maladie.

Cependant, nombre d'études ont montré que, **sous certaines latitudes, l'état de l'atmosphère exerce sur la mortalité générale une forte influence**. C'est ainsi qu'il a été relevé que le climat rend compte, à lui seul, de 77 % de la variabilité en jours successifs du nombre de décès à Turin et de 87 % à Naples.

Le tableau succinct, ci-dessous, donne une idée de l'influence du climat sur la santé selon les pays :

Influence du climat sur la santé

| | |
|-------------|---|
| Très faible | Pays scandinaves, Canada, Etats-Unis d'Amérique, sauf sud-est |
| Modérée | Floride, France, Pays-Bas, Allemagne |
| Décisive | Japon, Grèce |

Mais, au-delà de ces différences, **au XX^{ème} siècle, l'influence du climat sur la santé s'est atténuée sur presque toute la planète sauf au Japon et, partiellement, en Italie.**

En **France**, cette influence était décisive vers 1910, encore forte vers 1960 et modérée actuellement.

La généralisation de l'usage des antibiotiques pourrait expliquer le retournement de tendance observé.

Le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT en déduit que « *les risques climatopathologiques sont toujours étroitement datés et localisés, largement tributaires du contexte (social, économique, culturel) ainsi que de la pratique médicale* ».

Des exemples de cette assertion peuvent être tirés des effets des **cyclones tropicaux** –qui engendrent un nombre de morts et de blessés inversement proportionnel au degré de développement de la zone touchée- de ceux des **vagues de froid en climat tempéré moyen** –où les victimes sont surtout des personnes âgées à l'état de santé déjà fortement altéré et des sans-abri (hiver 1985 en France)- ou encore de ceux des **grandes vagues de chaleur en climat tempéré moyen et en climat méditerranéen** (été 1976 dans 20 départements français, juillet 1983 à Marseille et dans toute la Provence, juillet 1987 à Athènes), où les victimes sont essentiellement des jeunes enfants, des personnes du troisième ou du quatrième âge, surtout des femmes.

De ces précédents, le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT a tiré plusieurs conclusions :

- **la chaleur du jour est bien supportée tant que la nuit permet de récupérer des forces dans de bonnes conditions ;**

- **la surmortalité des périodes caniculaires se concentre dans les grandes villes, surtout en centre ville, notamment dans des îlots de chaleur urbains et est accentuée par la pollution atmosphérique** (à Athènes, par exemple) ;


- **les sociétés modernes sont de plus en plus vulnérables aux vagues de chaleur.** En effet, l'homme y vivant de plus en plus dans un milieu artificiel et hyperprotégé, a une capacité réduite de résistance aux changements climatiques ; la généralisation de l'air conditionné permet d'inverser cette tendance.

De ces éléments, l'auteur cité déduit que « *les répercussions sanitaires des fortes chaleurs estivales n'ont rien d'inévitables* » et il observe que **la maladie résulte de la « conjonction d'un excès du climat avec d'autres facteurs, constitutionnels ou acquis, qui mettent l'organisme dans**


une situation permanente ou transitoire de faiblesse ». « *Le seul rôle du climat est de fournir la chiquenaude qui, chez un sujet déjà prédisposé, déclenche le processus pathologique* ».

D'où la proposition, reprise par votre Rapporteur, de développer en France l'élaboration et la diffusion de **bulletins médico-météorologiques** permettant, par exemple, d'attirer l'attention sur la survenue de conditions climatiques propres aux infarctus du myocarde ou aux rhinites, conjonctivites et crises d'asthme liées à la date initiale de pollinisation.

B. L'IMPACT DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE SUR LA SANTÉ

La mission interministérielle de l'effet de serre (MIES), dans son rapport sur les *Impacts potentiels du changement climatique en France au XXI^{ème} siècle* , a étudié également **les influences possibles des changements climatiques sur la santé en France métropolitaine et dans les DOM-TOM au XXI^{ème} siècle** (1). Après avoir noté que les saisons normales du XXI^{ème} siècle devraient reproduire les saisons connaissant des températures anormalement élevées du XX^{ème} siècle, il a été observé qu'**un réchauffement moyen de 2°C serait suffisant pour produire un impact direct sur le fonctionnement de l'organisme humain** (coups de chaleur, déshydratation aiguë, accidents cardio-vasculaires ou cérébro-vasculaires). De plus, les effets cumulatifs d'un ensoleillement renforcé pourraient multiplier les cas de cancer cutané ; ce qui ne serait constaté que dans trois ou quatre décennies.

Les personnes seraient inégalement touchées, les plus menacées étant les personnes âgées, les malades chroniques, les jeunes enfants et les nourrissons. De plus, le vieillissement de la population ne fait qu'augmenter sa vulnérabilité aux aléas climatiques.

Pour le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT , **la mortalité en hiver reculerait de 5 % à 7 % vers le milieu du XXI^{ème} siècle**, tandis que **la mortalité d'été s'accroîtrait** chez les personnes âgées et chez les catégories sociales les moins favorisées, ainsi que chez les femmes au delà de la soixantaine. Les précédents des étés les plus chauds des cinquante dernières années (1947, 1949, 1952, 1961, 1962, 1964, 1976, 1978, 1982, 1985, 1986, 1989, 1990, 1991) permettent d'extrapoler, **pour le milieu du siècle prochain, un taux moyen d'augmentation des décès de 12 % à 18 %**. Cette prévision, bien inférieure à celles effectuées aux Etats-Unis d'Amérique (doublement ou triplement de la mortalité) reste assez raisonnable.

La répartition géographique de l'évolution du rythme annuel de la mortalité pourrait faire que **la sur-mortalité** se concentre presque

(1) *Contribution du Professeur Jean-Pierre BESANCENOT, CNRS : GDR Climat et Santé, Faculté de Médecine, Dijon.*

exclusivement **dans les grandes agglomérations urbaines** (quartiers centraux densément bâtis, villes méridionales de plusieurs centaines de milliers d'habitants). L'auteur cité a d'ailleurs relevé que « *le citadin qui vit dans une ambiance artificielle (réchauffée l'hiver et réfrigérée l'été) aggrave son intolérance vis à vis des conditions climatiques adverses et le rend incapable d'y faire face* ».

Il a noté également, **le retour plus fréquent de phénomènes extrêmes** : des chaleurs comme celles de l'été 1976, considéré comme le record du XX^{ème} siècle, risqueraient de survenir tous les trois à cinq ans au milieu du siècle prochain.

Comme l'ont relevé les climatologues, **le réchauffement concernerait essentiellement les températures nocturnes**, ce qui provoque généralement le maximum de mortalité dans la mesure où l'organisme, après avoir supporté la chaleur de la journée, ne trouve plus le moyen de récupérer pendant la nuit.

Les interrogations demeurent sur l'existence ou non **de seuils critiques de température** par rapport à la santé publique.

Dans cette communication, il a été également souligné que **les rhino-conjonctivites (rhume des foins) risqueraient de présenter des pics énormes** aux périodes de dissémination maximale des grains de pollen qui malheureusement ont cours presque toute l'année (à la fin de l'hiver et au début du printemps, il s'agit du pollen d'arbres et d'arbustes ; à la fin du printemps et au début de l'été, du pollen de graminées et, à la fin de l'été, comme au début de l'automne, du pollen d'armoise et d'ambrosie).

En outre, il a été signalé, qu'un réchauffement du climat amènerait **des déplacements vers le nord de nombreuses espèces végétales dont certaines très allergisantes** (les pollens de cyprès et de pariétaire pourraient remonter jusqu'en Bourgogne ou en Touraine, tandis que le pollen d'arganier remonterait du sud du Maroc jusqu'en Provence ou en Languedoc-Roussillon). Les journées de beau temps chaud et ensoleillé augmenteraient les quantités de pollen libérées.

D'autres effets sont également à redouter, quant aux **crises d'asthme** et aux **bronchiolites estivales** liées à l'accroissement de la teneur de l'air en oxyde d'azote, en ozone et en autres polluants photochimiques qui produisent un brouillard photo-oxydant particulièrement irritant et toxique.

Immanquablement, il y aurait une répercussion directe de la qualité de l'air extérieur sur celui des locaux où les pics de pollution se trouvent généralement renforcés.

Deux ans plus tard, dans l'ouvrage cité, le Professeur Jean-Pierre BESANCENOT a précisé que les risques principaux que le **réchauffement**

climatique ferait courir à la santé seraient le développement de maladies infectieuses et parasitaires comme le **paludisme** inoculé par la salive du moustique anophèle (1) femelle.

Ces moustiques se reproduisent à proximité de l'eau (zones marécageuses, mares) vers 28 °C dans une ambiance humide.

D'où **une possibilité d'extension de la zone d'endémie** vers le nord et vers le sud.

Pourraient être concernés le **nord du Sahel, le Maghreb, la Turquie, l'essentiel du Proche et du Moyen-Orient, l'Afrique du sud, les *tierras Calientes* du Yucatan et du Centre-Est mexicain, le Brésil méridional et le sud de la Chine.**

En outre, la maladie pourrait gagner, du fait du réchauffement, **des altitudes plus élevées** que 1.400 m ou 1.600 m.

En **France**, les moustiques vecteurs sont présents mais le **paludisme a disparu** avec l'assainissement des terres humides et des marais. Des cas de **paludisme importé** sont toutefois constatés à proximité des aéroports.

Au-delà des maladies infectieuses et parasitaires, **les changements climatiques pourraient entraîner une diminution de la surmortalité hivernale et une surmortalité estivale nettement accrue.** La différence entre les deux évolutions opposées est imprévisible et sans doute liée à la rapidité avec laquelle interviendrait le réchauffement annoncé.

Toutefois, avec les auteurs les plus autorisés, votre Rapporteur tient à rappeler que **beaucoup de données demeurent encore ignorées, que les conséquences des changements climatiques seront liées aussi à la multiplication des événements extrêmes et qu'elles toucheraient très différemment les divers milieux sociaux et culturels.**

Doivent être aussi signalés, en plus des risques de recrudescence des **rhinites** et de l'**asthme**, notamment du fait de l'augmentation des quantités de pollen libérées dans l'air, une croissance des cas de **lithiase urinaire**, une élévation du taux de **naissances prématurées** et un renforcement du taux de **mortalité périnatale**, une multiplication des **intoxications** du fait d'une moins bonne conservation des aliments, des risques plus grands de **contamination des systèmes de climatisation ou d'humidification (légionnelle, par exemple).**

Dans le domaine de la santé, comme il l'a déjà mentionné dans d'autres domaines, dans le début du présent rapport, votre Rapporteur ne peut manquer de souligner que **certains agissements de l'homme viennent**

(1) *nuisible, en grec.*

considérablement renforcer les facteurs climatiques dans la réalisation des risques encourus.

Ainsi, est-ce la diminution de l'épaisseur de la couche d'ozone ou **le comportement de plus en plus héliotropique des populations** s'exposant inconsidérément au soleil qui se trouveront à l'origine de la multiplication des cas de cancers cutanés ?

Est-ce **le vieillissement de la population** ou le réchauffement qui entraîneront, l'été, au cours des vagues de chaleur, en particulier dans les grandes villes, la surmortalité des personnes âgées malades ?

Sont-ce les changements climatiques ou la pollution qui entraîneront la recrudescence des **crises d'asthme** ou des **bronchiolites** l'été lors des pics d'ozone ?

A propos des **maladies à vecteurs**, le Professeur François RODHAIN, de l'Institut Pasteur [📖 M.I.E.S. et 📁], a noté concernant **les maladies à tiques (encéphalite, borreliose de Lyme, babébioses, fièvre boutonneuse, fièvre récurrente dite hispano-nord-africaine)** que **la borreliose de Lyme et les babébioses** pourraient voir leur incidence clinique multipliée –en liaison avec les populations de mulots, de campagnols et de cervidés impliqués dans la maintenance des populations de tiques.

Dans une moindre mesure, **l'encéphalite à tique** pourrait gagner d'autres régions que l'Alsace et les Vosges, de même que **la fièvre boutonneuse**, connue des régions méridionales, pourrait remonter vers le nord.

A l'inverse, **la fièvre récurrente hispano-nord-africaine** ne devrait pas apparaître en France.

Quant aux **maladies à moustiques**, **le virus West Nile** (affections fébriles, rares encéphalites) importé épisodiquement en **Camargue** par les oiseaux migrateurs, pourrait se manifester plus fréquemment qu'aujourd'hui. De même pour **le virus Tahyna** (syndromes fébriles aigus).

Les chiens pourraient être touchés davantage qu'actuellement par **les filaires** (1) dans les régions méditerranéennes.

Les arbovirus déclenchant des **fièvres à phlébotomes** (affections aiguës bénignes survenant en été), et déjà présents en Italie, seraient capables de gagner le sud de la France.

(1) Ver parasite des régions chaudes, mince comme un fil, vivant sous la peau ou dans le système lymphatique de divers vertébrés.

Des leishmanioses, affectant l'homme et les animaux, risqueraient de se multiplier dont **la leishmaniose viscérale** (mortelle si non traitée), déjà présente dans les Alpes-Maritimes autour de Marseille et dans les Cévennes, qui peut connaître des interactions très défavorables en cas de co-infection avec le virus du Sida.

La leishmaniose cutanée, présente dans la région méditerranéenne, plus bénigne, pourrait aussi s'étendre.

Les maladies à puces ne devraient pas gagner du terrain, ces insectes demeurant plutôt insensibles au climat. En fait, c'est plutôt l'évolution des populations de rongeurs, infectés éventuellement par les puces qui serait à surveiller.

Les maladies à poux se développant plutôt dans le froid ne seraient pas favorisées par le réchauffement climatique.

Plus préoccupant serait le cas, déjà évoqué, du **paludisme**, dont la forme grave (*Plasmodium falciparum*) est **étroitement liée aux conditions climatiques**.

En effet, le développement du parasite cesse si la température de l'organisme des moustiques descend au-dessous de 18° à 20°.

Pour le Professeur François RODHAIN, **seule une introduction massive de parasites risquerait d'entraîner une reprise de la transmission** à condition encore que les souches de Plasmodium introduites soient compatibles avec les anophèles présents en France, ce qu'il juge peu probable.

Enfin, cet éminent spécialiste souligne **les dangers de l'introduction en France du moustique *Aedes albopictus*, vecteur de la dengue.**

D'origine asiatique, ce moustique se répand dans le monde depuis une dizaine d'années. Il a gagné successivement les Etats-Unis d'Amérique, le Mexique, le Brésil, le Nigeria, le Pacifique sud et, depuis 1990, le nord de l'Italie ; quelques spécimens ont été récemment recueillis en France.

La dissémination d'*Aedes albopictus* est surtout liée aux moyens de transports.

Une autre espèce, *Aedes aegypti*, principal vecteur de la fièvre jaune et de la dengue, pourrait se réimplanter en France.

Enfin, une introduction de **la peste équine**, maladie virale frappant les équidés, en Europe du sud, via l'Afrique du nord et la péninsule ibérique, pourrait résulter d'un réchauffement climatique.

En effet, le diptère qui la véhicule (*Culicoides imicola*) est une espèce subtropicale dont **la limite nord d'implantation pourrait atteindre le sud de la France.**

C. LE CAS DES DÉPARTEMENTS ET TERRITOIRES D'OUTRE-MER

Les **DOM-TOM** soumis à des conditions climatiques très différentes de celles de la France métropolitaine risquent d'être particulièrement concernés par l'évolution des populations de vecteurs.

La recrudescence de **la maladie de Chagas** (Dr Christine ROMANA ) ou encore des leishmanioses en Guyane peut survenir.

En revanche, **le paludisme** ne devrait s'étendre ni en Guyane, ni à Mayotte, qui sont des régions de paludisme stable.

Tel n'est pas le cas de la Martinique, de la Guadeloupe, de La Réunion ou de la Nouvelle-Calédonie, territoires aujourd'hui indemnes. La stricte surveillance en place à La Réunion pourrait inspirer une organisation analogue aux Antilles françaises.

Par ailleurs, la prolifération du moustique *Aedes* menacerait la Guyane, la Martinique et la Guadeloupe de **fièvre jaune** ; ces mêmes territoires et La Réunion, Mayotte, la Nouvelle-Calédonie et la Polynésie française de **la dengue** ; tous les DOM-TOM de **la filariose lymphatique**, seulement présente actuellement en Polynésie et à Mayotte.

Face à ces évolutions fortement marquées d'incertitude, les DOM-TOM devraient faire l'objet d'**une surveillance épidémiologique accrue**, en particulier, d'**une surveillance entomologique permanente et fiable**, quoique coûteuse à mettre en place.

Pour le Professeur François RODHAIN, **une volonté politique forte** devrait être mobilisée sur ces objectifs compte tenu de l'importance des enjeux.

VI. LES ENJEUX GÉOPOLITIQUES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les changements climatiques qui risquent de survenir au cours du XXI^{ème} siècle ne pourront manquer de modifier une partie de la donne géopolitique, voire géostratégique.

Les ressources en eau, l'agriculture, la santé, les déplacements de population risqueraient d'en être affectés.

Même une esquisse de ces évolutions dépasserait le cadre du présent rapport ; cependant, ces aspects doivent tout de même être schématiquement évoqués pour mémoire.

A. L'EAU

Deux évolutions opposées sont à redouter. Tout d'abord, le risque que **la montée du niveau des océans** vienne submerger certains territoires, notamment des **îles situées au milieu du Pacifique** ; certains Etats craignent même une submersion totale et ont cherché à obtenir des territoires en concession de la part d'Etats voisins.

Au sein même des négociations climatiques, ces Etats îliens se sont regroupés -OSIS- pour faire entendre leur voix au niveau international.

Même si la montée du niveau des océans n'est ni rapide, ni instantanée, **la très faible altitude de ces îles peut les rendre vulnérables** à l'occasion d'une conjonction entre et des événements climatiques extrêmes. Il pourrait alors suffire de quelques heures pour provoquer des dommages irréremédiables.

Dans nombre d'autres pays, des territoires côtiers présentent également une grande vulnérabilité ; c'est le cas des deltas ou des villes situées en bord de mer sur de mauvais terrains que des précipitations accrues pourraient fragiliser.

L'autre menace liée à l'eau provient de sa rareté croissante.

Déjà actuellement, nombre de **conflits** d'apparence politique, ethnique, culturelle, se révèlent être sous-tendus par des oppositions irréductibles pour accéder à la première des richesses, l'eau.

Il en a été ainsi des conflits entre **le Kirghizistan et le Tadjikistan** pour les ressources de l'Amou-Daria et du Syr-Daria, entre **l'Angola et la Namibie**, et entre **l'Afrique du Sud, le Botswana, le Zimbabwe et le Mozambique**.

Pour s'en tenir à quelques exemples, le **Moyen-Orient**, qui fournit en grande partie le pétrole, c'est-à-dire l'or noir de la civilisation industrielle, est déchiré par les querelles relatives à l'or bleu, c'est-à-dire l'eau.

Ces conflits concernent le monde entier car ils remettent en question périodiquement la sécurité des approvisionnements énergétiques.

Il suffit de rappeler que **les deux-tiers des pays arabes disposent de moins de 1.000 m³ par habitant et par an**, soit le niveau du seuil des crises chroniques (1), que 40 % **de l'eau israélienne** proviennent des territoires occupés depuis 1967, le Golan et la Cisjordanie dont 90 % de l'eau est utilisé au profit d'Israël. De plus, l'occupation du sud-Liban par Israël de 1988 à 2000 lui permettait de contrôler une partie des eaux du fleuve Litani. A l'origine, la fondation même de l'Etat hébreu reposait sur l'idée d'une population nombreuse regroupée sur des terres arides et qui devait développer une agriculture intensive, donc forte consommatrice d'eau.

Par ailleurs, **la Jordanie** dépend d'Israël pour un approvisionnement minimal en eau.

En fait, Israël, la Syrie du sud, le Liban du sud, la Jordanie et les territoires palestiniens connaissent déjà un état de pénurie d'eau.

De son côté, **le Nil** voit ses eaux convoitées par l'Ouganda, la Tanzanie, le Kenya, le Zaïre, le Burundi, le Rwanda, l'Ethiopie, le sud de l'Erythrée et l'Egypte, ce qui a pu justifier l'appellation de «*vallée de la discorde*» pour la Vallée du Nil.

D'autant plus que la plupart de ces pays connaissent **une explosion démographique** se traduisant par une multiplication de leur population par trois ou par quatre de 1950 à 2000. L'ensemble de ces Etats rassemble aujourd'hui plus de 200 millions d'habitants.

Comme souvent, une sorte de compétition se déroule entre l'utilisation de la terre pour l'agriculture, le développement des villes, l'arbitrage entre l'usage de l'eau pour la production de céréales ou les usages urbains.

Quant aux eaux du **Tigre** et de l'**Euphrate**, elles opposent la Turquie, l'Irak, la Syrie et l'Iran. La très grande richesse en eau de la Turquie peut lui laisser espérer jouer dans cette région un rôle analogue à celui joué, grâce au pétrole, par l'Arabie Saoudite au Moyen-Orient.

Pour sa part, **l'Irak** se sent encerclé par l'Iran, la Syrie et la Turquie d'où provient l'essentiel de sa capacité en eau.

(1) Au-dessus de 1.700 m³/an/habitant = abondance

Au-dessous de 1.700 m³/an/habitant = crises périodiques

Au-dessous de 1.000 m³/an/habitant = crises chroniques

Au-dessous de 500 m³/an/habitant = pénurie

Derrière ces conflits liés à l'eau existent des divergences sur les concepts de frontière et de souveraineté, sur le droit international de l'eau (1).

Au cours de ses auditions, votre Rapporteur a été très frappé par le nombre de personnes soulignant **l'importance primordiale de la question de l'eau pour le XXIème siècle.**

Liée ou non aux changements climatiques, cette préoccupation risque de devenir prééminente.

Ont en particulier attiré l'attention sur ce point, par exemple :

- M. Michel PETIT du GIEC ☞,

- le Professeur Maurice TUBIANA de l'Académie des Sciences ☞, pour qui ce problème sera **le problème majeur du XXIème siècle**, même s'il épargne en partie l'Europe ;

- M. Yves CARISTAN, Directeur général du BRGM ☞ ;

- M. René LERAY, de la Commission européenne ☞ qui estime que la rareté de l'eau sera plus que jamais porteuse de **conflits** ;

- M. Jean SALMON, de la F.N.S.E.A. ☞ qui voit dans l'accès quantitatif à l'eau **l'enjeu du prochain siècle** ;

- M. Ghislain GOSSE, de l'I.N.R.A. ☞, qui note que, même en Europe, dans de nombreuses régions, **l'activité agricole ne sera pas prioritaire pour l'usage de l'eau.**

Pour M. René LERAY, comme pour votre Rapporteur, **des formules nouvelles de coopération interétatiques doivent être imaginées autour de l'eau** en plaçant celle-ci au centre de solutions à d'autres problèmes liés, par exemple, aux frontières ou aux migrations de populations...

B. LA DÉSERTIFICATION

Lorsque la quantité d'eau qui s'évapore diminue sur de grandes surfaces, les pluies tendent à se raréfier, d'où le début d'un **cycle infernal** pour les plantes et pour le climat local.

(1) Rapport sur « le Moyen-Orient et l'eau » du sénateur André DULAIT et de François THUAL par le Centre de Réflexion et d'Etude sur les Problèmes Internationaux (C.R.E.S.P.I.), juin 2000, 87 pages.

A travers l'évocation de ce phénomène très préoccupant, votre Rapporteur a le désir d'insister avec gravité sur un aspect des **relations Nord-Sud** que les changements climatiques vont mettre en évidence.

Pour cela, il se limitera à **la désertification du Nord de l'Afrique** pour esquisser une réflexion sur l'avenir de l'Europe au cours du XXI^{ème} siècle.

1. Sécheresse et démographie

Dans le rapport 2001 du GIEC, il est indiqué qu'**à l'horizon 2050, les sécheresses risquent de s'accroître au Maghreb comme au Sahel**, c'est-à-dire au Nord et au Sud du Sahara.

Cette donnée mérite d'être particulièrement prise en considération dans la mesure où, déjà actuellement, et ce, depuis de nombreuses années, les sécheresses ont déjà rudement frappé ces régions du monde. Il suffit de rappeler la sécheresse qui a sévi au Sahel de 1968 à 1988 et l'augmentation du rythme comme de la durée des sécheresses au Maghreb depuis 1980.

A ces conditions climatiques viennent se surajouter la mauvaise gestion d'un environnement fragile (déboisement intensif, surpâturage) et une érosion accélérée des sols sous l'effet de pluies torrentielles.

Dès lors, **la rapide croissance démographique et celle de la population urbaine exercent une très forte pression sur les ressources. De plus en plus, les villes détournent à leur profit l'eau destinée aux cultures irriguées.**

**Croissance de la population au Maghreb
de 1984 à 2025**
(projections en millions d'habitants)

| | 1984 | 2000 | 2025 |
|--------------------|------|------|------|
| Population | 50 | 75 | 120 |
| Population urbaine | 20 | | 78 |

Les seuils de consommation d'eau par habitant risquent de descendre au-dessous de 500 m³, soit le seuil de pénurie, en 2025 dans cinq Etats au Sud et à l'Est de la Méditerranée et dans huit Etats en **2050**.

De telles données rendent illusoire la fixation d'un objectif de développement durable pour ces pays au XXI^{ème} siècle. Se profilent plutôt des crises économique, financière et écologique sans doute accompagnées de courants d'émigration soutenus.

2. Solutions techniques et coopération

C'est pourquoi, dès à présent, **ce contexte a conduit le Professeur Pierre ROGNON, spécialiste des climats arides** [📁 et 📖] **à proposer des solutions fondées sur une coopération Nord-Sud** pour, par exemple, diminuer l'évaporation sur les lacs et barrages, accroître le rendement en eau des nuages, recharger artificiellement les nappes aquifères, favoriser les transports maritimes d'eau douce du Nord au Sud de la Méditerranée, améliorer les rendements agricoles grâce aux hydro-rétenteurs fertilisants ou encore, lutter contre l'ensablement.

Pour votre Rapporteur, il est important d'accepter de regarder cet avenir probable de la manière la plus constructive possible pour s'adapter aux changements climatiques et à leurs conséquences plutôt que de les subir.

TROISIÈME PARTIE : LA RÉFLEXION SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Présentation de la troisième partie par le sénateur Marcel DENEUX □

CHAPITRE PREMIER : LES DONNEES DE L'ANALYSE

I. LA COMPLEXITÉ DU PHÉNOMÈNE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les deux premières parties du présent rapport ont tenté de montrer la complexité du phénomène du changement climatique.

Il est apparu que **le climat est une donnée planétaire, variable, complexe, contrastée, méconnue et non maîtrisable par l'homme**.

De plus, **l'homme semble avoir joué, et joue encore, un rôle déterminant dans le réchauffement climatique en cours**. Cela résulte des effets de multiples activités humaines liées aux aspects les plus quotidiens de la vie comme aux ressorts de la croissance économique mondiale.

Dans la mesure où les changements climatiques résultant du réchauffement auront de nombreux impacts dont la plupart ne peuvent déjà plus être évités – les gaz à effet de serre émis dans le passé résident dans l'atmosphère pendant une durée incompressible – **l'homme n'a plus qu'à s'adapter, si cela est possible, et à envisager d'éviter, en réduisant ses émissions de gaz à effet de serre, d'avoir un jour à constater que certaines adaptations aux changements climatiques excéderaient ses possibilités**.

L'alerte ayant été donnée par la communauté scientifique, les préoccupations de celle-ci furent relayées par de nombreuses politiques nationales et internationales.

Mais, plus les études et négociations se multiplient, plus le caractère transversal de la question des changements climatiques frappe les divers intervenants.

C'est pourquoi l'**Académie des sciences** a envisagé, après avoir consacré déjà plusieurs rapports à l'effet de serre et à des thèmes connexes, de réunir les compétences de toutes les Académies de l'Institut, pour aborder l'ensemble des aspects des changements climatiques. M. Hubert CURIEN, Président de l'Académie des sciences, a annoncé publiquement cette orientation lors de la conférence-débat « *Énergies et Climat* », tenue le 23 avril 2001 à l'Institut de France.

Par ailleurs, le **G.I.C.C.** mène des travaux à moyen et long termes confiés à des spécialistes de plusieurs disciplines.

Enfin, **au niveau international**, tous les chercheurs impliqués dans les questions liées aux changements climatiques se connaissent et communiquent régulièrement entre eux, ne serait-ce qu'à l'occasion des réunions ou à travers les travaux du G.I.E.C.

II. LES LIMITES D'UNE RÉACTION DE L'HOMME

Si l'action humaine depuis cent cinquante ans a pu modifier la composition de l'atmosphère terrestre jusqu'à provoquer un réchauffement planétaire dont les conséquences peuvent être dommageables pour l'homme, **suffit-il d'une nouvelle intervention humaine, en sens opposé, pour que les choses rentrent dans l'ordre ?**

Cela conduit à poser la question de la réversibilité des modifications d'origine anthropique et de la volonté de l'homme à agir dans une direction différente de celle suivie spontanément par lui jusqu'ici et dont il a retiré beaucoup d'agréments.

A. L'HOMME PEUT RALENTIR MAIS NON ANNULER L'INTENSIFICATION DE L'EFFET DE SERRE DONT IL EST RESPONSABLE

L'intensification de l'effet de serre actuellement constatée résulte en grande partie de l'émission de gaz à effet de serre émis par l'homme il y a de nombreuses années.

Selon Pierre MOREL¹, « *L'humanité, sans s'en rendre compte, a déclenché une expérience géophysique sans précédent avec la planète Terre, le seul habitat connu dans l'Univers qui soit favorable à la vie. Il va de soi qu'une telle démarche est parfaitement irresponsable* ».

¹ Fondateur du Laboratoire de Météorologie Dynamique (L.M.D.) du C.N.R.S. et Secrétaire du Programme mondial de recherche sur le climat.

Il suffit de se reporter aux temps de résidence dans l'atmosphère des différents gaz à effet de serre pour noter que, par exemple, des molécules de carbone émises vers 1880 peuvent encore être présentes aujourd'hui et agir sur le réchauffement actuel.

Il s'agit bien de carbone lié à la civilisation industrielle et même à la révolution industrielle dont les fondateurs présentent, en quelque sorte, aujourd'hui, **une facture un peu inattendue** aux générations qui leur ont succédé.

Mais, le coût élevé de ladite facture ne provient pas d'intérêts de retard mais du fait que les héritiers ont bien fait fructifier l'héritage dans le sens indiqué par leurs ancêtres : la révolution industrielle s'est muée en civilisation industrielle jusqu'à devenir le seul système de développement actuellement concevable dans le monde.

Malgré de très grandes disparités entre pays, seuls deux groupes d'États peuvent être distingués : les pays développés et ceux en voie de développement ; mais, le contenu même du développement n'a été remis en cause que récemment, et encore de manière plus apparente que réelle, à travers **la notion de développement durable**.

Celui-ci devra tenir compte du fait que les gaz à effet de serre, émis dans le passé récent, demeurent largement présents dans l'atmosphère et constituent comme **un stock** de gaz à effet de serre tandis que leur disparition graduelle et les nouvelles émissions constituent **un flux**.

La seule action sur le stock résulte du temps qui s'écoule alors que celle sur le flux peut, pour la part actuellement émise, dépendre d'une remise en cause des sources d'émission de gaz à effet de serre.

1. La disparition des gaz à effet de serre déjà émis est très lente

Comme il a été exposé plus haut les temps de résidence dans l'atmosphère des gaz à effet de serre sont très différents les uns des autres : certains y demeurent **plusieurs dizaines d'années**, d'autres **plus d'une centaine** et d'autres, enfin, **plusieurs milliers d'années**.

Or, les gaz les plus tenaces, comme les perfluorocarbures (PFC) ou les hexafluorocarbures (HFC), ont précisément été émis dans la période la plus récente sans compter que la liste de ces gaz n'est pas close, l'homme continuant à en inventer de nouveaux.

La lenteur de la dissipation du stock devrait, en toute logique, conduire à ralentir, voire à cesser en partie les flux et, en tout cas, à renoncer à les accroître.

Qu'en est-il exactement ?

2. Le rythme d'une remise en cause est lent

La prise de conscience du phénomène de l'intensification de l'effet de serre est assez récente dans **le monde scientifique** –même si des précurseurs comme FOURIER ou Svante ARRHENIUS avaient perçu le phénomène –et elle est seulement en train de s'effectuer au-delà de ce cercle.

Encore le grand public de la partie du monde où il est le plus question de ce phénomène n'est-il le plus souvent informé que par **les médias**, souvent alarmistes, tandis que **les programmes scolaires** n'ont pas toujours intégré, ou pas depuis très longtemps, les enseignements sur ces points.

Bien entendu, cette prise de conscience a été retardée par **de puissants intérêts économiques et/ou politiques** opposés à une remise en cause de l'émission sans frein de gaz à effet de serre.

Il suffit de citer à cet égard les réticences des **États-Unis d'Amérique** dont les *lobbies* industriels, notamment charbonnier et pétrolier entendent bien continuer à influencer sur la politique suivie pour éviter toute remise en question du mode de vie américain très énergétivore.

Même si, par rapport au stock déjà émis, le flux actuel n'est pas prépondérant, il faut considérer que, dans la mesure où, pour l'effet de serre actuel, stock et flux s'additionnent, **tout encouragement à la poursuite du volume présent d'émission de gaz à effet de serre, voire à son intensification, aggrave le problème posé et en compromet la résolution.**

B. LA RÉDUCTION DE L'ÉMISSION DE GAZ À EFFET DE SERRE REMET EN CAUSE L'UNIQUE MODÈLE DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE

Existe-t-il, pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, une volonté de remise en cause du modèle actuel de développement économique ou un autre modèle à lui substituer ?

Dans les deux cas, comment s'adapter au changement climatique global qui risque de survenir ?

1. L'absence d'une volonté de remise en cause du modèle

L'alerte donnée par le monde scientifique fut entendue par les instances internationales, puis amplifiée par les travaux du GIEC (IPCC) ; le

relais politique fut pris par l'organisation de Conférences internationales sur le thème même des changements climatiques et l'élaboration de programmes d'action nationaux.

Le réchauffement redouté ne pouvant être que planétaire, une réaction de niveau international apparaît adaptée mais, compte tenu de l'inégal niveau de développement des divers États du monde et de leurs attitudes très diverses face aux sources d'énergie, **plusieurs groupes d'intérêts** s'opposent.

Ils ont été renforcés par le fait que **les pays les plus industrialisés** ont émis dans l'atmosphère au cours de leur histoire récente les plus grandes quantités de gaz à effet de serre et apparaissent donc comme les responsables de l'évolution climatique actuelle.

Pour ceux-ci, l'émission de gaz à effet de serre n'est pas un aspect secondaire de leur prospérité économique mais, au contraire, une retombée des activités majeures sur lesquelles repose leur puissance et leur qualité de vie. En conséquence, ni la spontanéité d'une remise en cause, ni son ampleur, ni sa rapidité ne sauraient être au rendez-vous.

Les pays en voie de développement ne manquent pas d'en tirer argument pour différer leur engagement dans la réduction de l'émission des gaz à effet de serre. **Les pays membres de l'Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole (OPEP)** en profitent pour attiser les antagonismes. Ni **la Chine** ni **l'Inde**, dont le développement reposera essentiellement sur le charbon - compte tenu de l'importance de leurs réserves de ce minerai fort émetteur de dioxyde de carbone - ne comptent remettre en cause leur croissance au nom de la lutte contre l'intensification de l'effet de serre.

Ces inerties conjuguées, même ponctuées de pétitions de principe, de sommets internationaux ou d'engagements médiatisés de grandes entreprises conduisent à **des demi-mesures**.

Les engagements de réduction sont négociés pied à pied, remis à plus tard, limités dans le temps, calculés sur des références discutables, marchandés en contrepartie d'autres facilités et, au nom de la mise au point d'un système perfectionné, les actions les plus quotidiennes sont trop souvent différées.

De plus, **pour nombre de pays, la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre ne peut venir s'inscrire qu'après bien d'autres priorités, souvent émettrices de tels gaz.** Qu'il s'agisse de l'intensification de l'agriculture, de l'industrialisation, de conflit armé, de la lutte quotidienne contre les famines, les épidémies ou les catastrophes naturelles.

Votre Rapporteur, en a eu un aperçu en **Israël**, en mai 2000, où malgré l'existence d'équipes de haut niveau international menant des recherches poussées sur les changements climatiques et, notamment, leurs

effets sur l'agriculture, des préoccupations tout à fait immédiates, liées à la sécurité nationale, constituent les vraies priorités.

2. Quel nouveau modèle de développement ?

A supposer que la priorité de la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre soit retenue par les pays développés, elle le sera dans le cadre d' **un développement durable**.

De prime abord, ce concept peut rallier à peu près tous les suffrages, à condition souvent de ne pas recevoir de contenu trop explicite ; certains retenant surtout de cette expression le premier mot « *développement* », entendant par là que le développement tel que mené jusqu'alors doit se poursuivre et s'amplifier ; et, de plus, durablement ; d'autres percevant dans l'adjectif « *durable* » la remise en cause des excès du développement actuel, à savoir, l'épuisement des ressources naturelles, la pollution, les émissions incontrôlées de gaz à effet de serre...

L'équivoque de l'expression « développement durable » garantit son succès, y compris, voire surtout, dans les négociations internationales d'autant que, puisque le développement est proclamé durable, donc implicitement sans effets négatifs, il est consacré comme le modèle absolu à généraliser sur l'ensemble de la planète.

Cependant, au-delà du piège des mots, de réelles remises en cause, **des efforts concrets et des réorientations ont déjà été effectués au nom du développement durable**.

Ont bénéficié de ces efforts **les énergies renouvelables, les économies d'énergie, l'attention portée à l'efficacité énergétique, la récupération de matériaux, le tri sélectif des déchets ou la récupération du méthane émis par les décharges**, par exemple.

De nouvelles techniques agricoles sont préconisées, **de nombreuses recherches** menées en vue de s'adapter à des exigences différentes.

3. S'adapter au changement climatique global

Le changement climatique global qui risque d'intervenir devra être affronté en même temps que d'autres changements de vaste ampleur comme, par exemple, la croissance démographique et la généralisation des valeurs de la société de consommation, qui entraînent l'épuisement accéléré des gisements d'énergie fossile.

➤ **La croissance démographique**

A l'horizon de l'étude objet du présent rapport, soit **2100** pour la date la plus lointaine, la population mondiale pourrait être passée de 6 milliards environ en 2002 à près de **9**, voire **de 12 milliards**.

Comme il a été indiqué plus haut, les changements climatiques envisagés sont très largement attribués au rôle de l'homme dans l'émission de gaz à effet de serre (agriculture, habitat, industrie, transports).

Jamais le monde n'a connu de croissance démographique si rapide ; elle va porter la population mondiale à un niveau inégalé.

Il est permis de douter que ce contexte soit très favorable à la remise en cause des modes de vie et des techniques actuelles, même si les estimations sur la croissance démographique sont affectées d'une large marge d'incertitude.

Qu'il s'agisse de nourrir les populations (entraînant les émissions de méthane du riz, celles d'azote des engrais ou celles de dioxyde de carbone de la production agricole qui exige une forte consommation de combustible fossile), de leur fournir de la chaleur et des biens (provoquant des émissions de dioxyde de carbone) ou de les transporter (susitant d'autres émissions de CO₂), **la croissance de l'émission de gaz à effet de serre paraît devoir être importante, en progression constante, et quasi-inéluctable au cours de ce siècle.**

Son simple maintien au niveau actuel relèverait déjà d'une politique extrêmement volontariste qui devrait être menée à l'échelle mondiale.

➤ **La société de consommation**

Deux affirmations reviennent régulièrement dans les rapports sur l'évolution de la société mondiale :

- **il est impossible de refuser aux pays en voie de développement d'ambitionner d'accéder au même niveau de développement que les actuels pays développés-** qui n'envisagent pas du tout eux-mêmes de stabiliser leur niveau de développement, d'où l'acceptation d'une spirale sans fin comprenant l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre ;

- **la croissance illimitée des transports, et sensiblement du transport aérien, est une donnée de la société industrielle** et non la résultante de certains choix à une étape de son développement.

Assez souvent, et de manière illogique, ces deux affirmations côtoient des engagements fermes de réorientation de la civilisation industrielle vers le développement durable.

Ces **contradictions** se retrouvent aussi bien au niveau individuel que chez les entreprises ou les États.

Ainsi, tel écologiste européen et, comme tel, amoureux de la nature, ne se déplacera qu'au moyen d'un véhicule tout terrain surpuissant et mal entretenu, muni d'un pare-buffle, et ne pensera pas à éteindre la lumière en quittant un local ou à arrêter un appareil électrique après utilisation.

Telle firme automobile engagera, à grand spectacle, un budget de lutte contre l'effet de serre – n'excédant toutefois pas le coût d'une petite campagne publicitaire – à travers une action concrète contre la déforestation en Amérique du Sud, tout en se lançant, plus discrètement, à la conquête du marché automobile chinois grâce à un véhicule mi-utilitaire mi-tourisme.

Tel État fera de la lutte contre l'effet de serre, ou, plus prudemment contre son intensification, une priorité nationale mais accélèrera la réalisation d'un nouvel et gigantesque aéroport international supplémentaire.

A ce stade, **les objectifs de la société de consommation ne semblent guère compatibles avec la réduction des émissions de gaz à effet de serre.** Dans ces conditions, est-il possible de simplement s'adapter aux changements climatiques ?

➤ **Les changements climatiques**

La maîtrise des gaz à effet de serre générés par les activités humaines se trouve en opposition avec les tendances découlant de la croissance démographique comme de la société de consommation fondée sur la croissance économique.

Cependant, **des actions ont déjà été entreprises permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre des divers secteurs de la société.**

Il s'agit, par exemple, pour **l'agriculture**, de repenser les techniques d'irrigation et de culture, pour **la sylviculture**, du reboisement et de l'exploitation méthodique mais raisonnée des forêts.

Pour **l'industrie**, c'est la poursuite des efforts considérables de réduction des émissions déjà accomplis dans les techniques de production comme dans les produits réalisés.

Pour **les transports**, l'amélioration spectaculaire des techniques de combustion pour les moteurs d'automobiles ou d'avions a atteint des performances inimaginables il y a encore quelques années, mais elle n'annule ni les émissions liées à la croissance des parcs d'automobiles ou d'avions, ni les émissions particulièrement polluantes de la partie ancienne des parcs.

Pour **l'habitat**, l'isolation, les exigences nouvelles de la réglementation thermique, la cogénération (électricité + chaleur), le chauffage au bois ont été à l'origine d'une moindre émission de gaz à effet de serre.

Pour **la production d'énergie**, la technique de la cogénération, les énergies renouvelables, la recherche d'une meilleure efficacité énergétique et le nucléaire ont diminué en partie le renforcement de l'effet de serre.

*

A ce stade, **quelle que soit la capacité, non négligeable, de l'homme à maîtriser l'émission de gaz à effet de serre, il semblerait qu'une telle volonté, si elle existe, doit se manifester très rapidement, à contre-courant des habitudes prises, des ressorts mêmes du développement industriel et en dépit d'une croissance démographique inégalée.**

Faute de quoi, non seulement les effets redoutés des changements climatiques surviendraient, mais ils seraient amplifiés par la prolongation, voire par l'accélération, de la tendance antérieure.

D'où la nécessité, pour affronter ces difficultés, d'examiner les données de l'analyse actuelle des changements climatiques puis d'en mesurer les limites avant d'envisager des solutions.

III. LA MULTIPLICITÉ ET LA VARIÉTÉ DES ANALYSES

Si la référence scientifique au GIEC est incontournable, d'autres synthèses incluant les aspects politiques et économiques doivent être consultées.

A. LE GROUPE INTERGOUVERNEMENTAL D'EXPERTS SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT (G.I.E.C.)

L'organisation météorologique mondiale et le programme des Nations-Unies pour l'environnement ont créé, en **1988**, l'« *Intergovernmental Panel on Climate Change* » (IPCC) ou, en français «Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Évolution du Climat » (GIEC). Ce groupe a élaboré

un état de la connaissance, sous tous ses aspects, des changements climatiques, y compris les causes humaines de ceux-ci, et leurs impacts sur l'activité humaine ; il a rendu compte des résultats de cette étude dans **trois rapports parus en 1990, 1996 et 2001**.

Le GIEC recense à la fois les connaissances, mais aussi les incertitudes ou les lacunes dans la connaissance du système climatique. Il regroupe **des centaines de chercheurs du monde entier** –voire plus d'un millier avec tous ceux contribuant aux relectures- qui, à travers des procédures méticuleuses de regroupement des données, de rédactions et de relectures contradictoires, aboutissent à **une opinion consensuelle**.

Le premier rapport, paru en 1990, a rappelé que l'effet de serre est un phénomène naturel sur la Terre, mais que **l'émission de gaz à effet de serre a largement augmenté au cours du dernier siècle et demi du fait des activités humaines**. Ce qui se traduit par une augmentation de la température à la surface de la planète.

Les experts ont relevé qu'au cours du XX^{ème} siècle, le réchauffement moyen à la surface de la Terre avait approché 0,5°.

Dans **le rapport paru en 1996**, les experts ont estimé que **la croissance des émissions de gaz à effet de serre nécessite de diminuer celles-ci de manière significative** pour stabiliser leur concentration dans l'atmosphère, les années les plus récentes ayant été les plus chaudes depuis 1860.

Pour autant, les experts qui ont désormais inclus dans leurs études les rôles particuliers des aérosols sulfatés et de l'ozone stratosphérique, constataient qu'il demeurait **difficile de quantifier l'influence de l'homme sur le climat**. La difficulté consistant toujours à **distinguer le/ou les signaux climatiques propres à l'homme parmi le bruit de fond de la variabilité naturelle**, et, ce, d'autant plus que **nombre de facteurs-clé sont affectés d'un coefficient important d'incertitudes**. Pour autant, **les experts concluaient qu'une influence humaine sur le changement global était discernable**.

Dans leur **troisième rapport, paru en octobre 2001**, les experts ont poussé plus loin l'analyse des climats du passé, des causes du changement climatique, des réponses que le climat pouvait apporter aux facteurs renforçant l'effet de serre, des causes de l'influence de l'homme sur ces phénomènes, et se sont interrogés sur le possible climat du futur.

Ces experts ont nettement affirmé que **le climat sur Terre est en train de changer**, et, naturellement, ils ont développé des analyses approfondies sur les causes de ce changement. Ils ont constaté que la température à la surface de la Terre avait augmenté de 0,6°, plus ou moins

0,2°, depuis le XIX^{ème} siècle ; **les années 1990** ayant constitué **la décennie la plus chaude**, et **1998 l'année la plus chaude** depuis la mise en œuvre des relevés de mesures en 1861. Ils ont distingué **deux périodes de réchauffement important : de 1910 à 1945, et de 1976 à 1999**, ces deux périodes de réchauffement ayant surtout concerné **l'hémisphère nord**, de même que la période de refroidissement 1946-1975 s'est fait également sentir dans cet hémisphère, tandis que l'hémisphère sud se réchauffait.

Les experts du G.I.E.C. ont aussi constaté que **les minima de température avaient augmenté deux fois plus vite que les maxima** (0,2 degré contre 0,1 par décennie). Ils ont noté également que **la troposphère et la surface de la Terre se sont réchauffées tandis que la stratosphère s'est rafraîchie**.

Ils ont surtout considéré comme évident que **l'ampleur et la durée du réchauffement au cours du XX^{ème} siècle ont été plus importantes que dans n'importe quelle période au cours des mille dernières années**. Concernant les climats du passé récent, une période chaude a englobé l'optimum climatique médiéval, soit du XI^{ème} au XIV^{ème} siècle, et une période froide comprenant le Petit âge glaciaire, s'est étendue du XV^{ème} au XIX^{ème} siècle dans l'hémisphère nord. Malgré l'existence de ce refroidissement récent, **les experts ont estimé que le réchauffement survenu dans l'hémisphère nord au cours du XX^{ème} siècle ne pouvait pas simplement être considéré comme un rattrapage du refroidissement antérieur**.

Même si ces experts ont également relevé que des changements importants de température, c'est-à-dire d'une ampleur de 5° à 10°, étaient parfois intervenus en quelques décennies, notamment durant le dernier âge glaciaire et la dernière période interglaciaire, c'est-à-dire entre 100.000 ans et 10.000 ans avant la période actuelle, dans l'hémisphère nord, il s'agissait là de changements causés par la variabilité naturelle du climat.

Ces experts ont considéré par ailleurs que **les changements climatiques se sont déjà vivement fait sentir à travers les précipitations qui ont continué à augmenter** aux latitudes moyennes et hautes de l'hémisphère nord, sauf en Asie de l'est, entraînant **l'augmentation de la vapeur d'eau atmosphérique** de quelques pour-cent par décennie sur plusieurs régions de l'hémisphère. Cela a même entraîné l'augmentation d'environ 10 % par décennie de la vapeur d'eau dans la basse stratosphère.

Ces phénomènes ont provoqué **une augmentation de la couverture nuageuse d'environ 2 % depuis le début du XX^{ème} siècle**, ce qui correspond bien à certaines diminutions de la température diurne, et explique que le réchauffement constaté soit plus faible le jour que la nuit.


De ces phénomènes, ont découlé aussi **le recul des surfaces enneigées et de celles des glaciers**. Depuis la fin des années 1960, la surface

enneigée a diminué d'environ 10 % tandis que les glaciers alpins et continentaux se retirent même si certaines exceptions régionales montrent des glaciers en progression.

De même, au cours des 100 ou 150 dernières années, **la période de gel des lacs et des rivières a diminué d'environ deux semaines par an aux latitudes élevées de l'hémisphère nord.**

Un retrait de la glace de mer est aussi observé dans l'Arctique, accompagné d'une diminution de l'épaisseur de la glace d'environ 40 % l'été, notamment au cours des années 1958 et 1976 ; ce retrait est surtout sensible au printemps et durant l'été, et même très légèrement en hiver, dans une proportion de 10 à 15 % depuis les années 1950, alors qu'**aucun phénomène de ce type n'est apparu dans l'Antarctique** ; une légère augmentation de la glace de mer a même pu y être relevée.

B. LES AVIS DU CONSEIL ÉCONOMIQUE ET SOCIAL SUR L'EFFET DE SERRE

Votre Rapporteur a tenu à faire figurer sur le Cd-rom, parmi les documents connexes au présent rapport, **l'avis du Conseil économique et social** rendu en **octobre 2000**, présenté par M. Jean GONNARD, rapporteur, et Mme Frédérique RASTOLL, rapporteur pour avis, et intitulé « *Le suivi de l'effet de serre* » .

Cet excellent document fait suite à **l'avis du Conseil économique et social** présenté en **octobre 1997** par M. Jean-Pierre CLAPIN, à la veille de la Conférence de Kyoto qui allait se conclure par l'adoption du protocole du même nom.

Cet avis intitulé « *Effet de serre et prospective industrielle française* » avait alors pour but **d'attirer l'attention de la délégation française sur « les enjeux et les risques économiques, sociaux et environnementaux » de la négociation de Kyoto.**

1. Les bases de négociation du protocole de Kyoto

Confié à la section des activités productives de la recherche et de la technologie, cet avis avait considéré que la question de fond portait sur **la corrélation entre croissance, emploi et environnement.**

Le Conseil économique et social avait alors préconisé d'**appliquer au phénomène de l'intensification de l'effet de serre le principe de précaution**, estimant que les dangers de l'évolution en cours étaient suffisamment étayés scientifiquement.

A l'époque, l'objectif avancé par **l'Union européenne** était de parvenir à **une réduction de 15 % de ses émissions de CO₂ à l'horizon 2010**, ce qui représentait une baisse des émissions mondiales de l'ordre de 2% (l'Union européenne participant alors pour 16 % aux émissions mondiales).

Mais, assez rapidement, **la Commission européenne avait constaté que la proposition initiale du Conseil, à savoir la dite réduction de 15 % à l'horizon 2010 des émissions de CO₂, CH₄ et N₂O, par rapport à l'année de référence 1990, ne pouvait être maintenue**, en dépit des programmes nationaux mis en place.

A l'inverse, elle estimait qu'il y aurait augmentation de l'émission de CO₂ de 8 %, par rapport à 1990, tandis que l'OCDE pronostiquait 15 ou 20 %. Par conséquent, entre les objectifs fixés et ces prévisions, s'était creusé un écart de 20 à 35 %, qui illustre assez ce qui sépare, dans le domaine de la réduction des émissions de gaz à effet de serre, une attitude volontariste de la réalité.

Par ailleurs, il avait été envisagé que l'Union européenne arrive à la négociation de Kyoto en donnant l'exemple d'engagements volontaires de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre par rapport aux pays en voie de développement, sans pour autant aller jusqu'à se fixer des objectifs irréalistes.

De plus, dans ce schéma, **l'Union européenne ne devait pas être le seul ensemble de pays développés à effectuer un effort.**

Pour situer le débat, l'avis du Conseil économique et social avait rappelé que, **parmi les membres de l'OCDE, la France était un des pays qui émettait le moins de CO₂ par habitant**, seuls le Portugal, la Suisse et la Turquie émettant moins par habitant.

Par comparaison, il rappelait qu'**un ressortissant de la RFA** émettait en moyenne 2,9 tonnes de carbone par an, soit 10,8 tonnes de CO₂, **un Français 1,7 tonne de carbone, soit 6,1 tonnes de CO₂**, alors qu'**un citoyen des États-Unis d'Amérique** émettait 5,5 tonnes de carbone par an, soit près de 20 tonnes de CO₂ ; ces chiffres étant de 2,5 tonnes de carbone et de près de 9 tonnes de CO₂ pour **un Japonais**.

De plus, l'avis insistait beaucoup sur la prise en considération des **efforts notables accomplis par la France au cours des années 1980** où la diminution du taux national d'émission de CO₂ a représenté 26,5 %. D'où **une préconisation consistant à refuser des objectifs contraignants uniformes calculés à partir de la base des émissions de l'année 1990**, le Conseil

économique et social jugeant de tels objectifs « *inévitables, inefficaces et incompatibles avec le mandat de Berlin* » (1).

Il rappelait aussi que **toutes les formes de subventions encourageant les activités fortement émettrices de CO₂ devraient être supprimées** et qu'il était souhaitable d'**instaurer une taxation progressive sur le CO₂**.

Par ailleurs, l'avis relevait que la France ayant choisi de tirer son électricité essentiellement de l'énergie nucléaire (environ 75 % de la production totale d'énergie primaire en 1996), procédé qui n'émet pas de gaz à effet de serre, cela rendait bien plus **difficile pour la France de réaliser une diminution des émissions** dans d'autres secteurs.

A l'inverse, il était relevé que **l'Allemagne** n'aurait pas trop de difficultés pour atteindre des objectifs de réduction, même bien plus élevés, compte tenu de la récente unification allemande, qui devait conduire à moderniser des installations obsolètes de l'ancienne Allemagne de l'Est tout en les voyant comptabilisées comme des efforts de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Hors de l'Union européenne, **le Japon se trouve dans un cas analogue à celui de la France**, tandis que **les États-Unis d'Amérique sont, comme l'Allemagne, favorisés** puisqu'ils n'ont pas hésité, pendant toute la période antérieure à 1990, à avoir recours à des sources d'énergie fortement émettrices de gaz à effet de serre.

Le Conseil économique et social mentionnait que certains experts estimaient qu'**il serait beaucoup plus aisé, pour la RFA, de réduire ses émissions de CO₂ de 25 % (grâce à la fermeture de centrales thermiques au lignite) que pour la France de respecter le 0 %**.

En dépit du fait que cet avis date de 1997, votre Rapporteur partage totalement les réserves ci-dessus exprimées, qui demeurent très actuelles, et estime en conséquence que **les bases mêmes du protocole de Kyoto sont défavorables aux intérêts de la France**.

De plus, compte tenu du fait que les bons résultats français figent la base de départ en incorporant les effets positifs résultant directement du nucléaire, **l'application du protocole de Kyoto conduira la France, vers les années 2010-2020, à ne pouvoir effectuer d'autre choix que la continuation de son option nucléaire** en renouvelant le parc de production des centrales arrivées à obsolescence.

(1) Mandat donné lors de la Conférence des Parties tenue à Berlin en 1995 prévoyant d'adopter des limites contraignantes pour les émissions au moment de la quatrième Conférence des Parties - et non de la troisième, celle de Kyoto -.

Cette conséquence est assez paradoxale au moment où la poursuite de l'option nucléaire est presque considérée comme un tabou en Europe et même aux États-Unis d'Amérique, et où l'Allemagne affiche des objectifs de sortie du nucléaire dont il n'est pas possible de concevoir leur bonne articulation avec le protocole de Kyoto.

2. Les instruments de flexibilité du protocole

Le Conseil économique et social s'était également exprimé sur les instruments fiscaux et sur les instruments de flexibilité du protocole de Kyoto (permis négociables, accords volontaires et applications conjointes).

Quant aux instruments fiscaux, il avait noté que face à la proposition de la Commission européenne faite en 1990, **une nouvelle taxe CO₂-énergie** devait être fixée à un niveau suffisamment élevé pour influencer sur la tendance de la consommation et que cette taxe n'était concevable qu'au niveau international.

A propos des **permis négociables** initialement proposés par les États-Unis d'Amérique, l'avis avait souligné que cela revenait à **autoriser les pollueurs à polluer moyennant paiement** et que les pays riches pourraient continuer à polluer en achetant des droits aux pays en développement.

Cependant, l'avis atténuait cette affirmation en précisant : « *Dès lors que l'on est bien persuadé que l'effet de serre est un phénomène intéressant le devenir de la planète, il serait illusoire de se priver d'un instrument autorisant la réduction des émissions les plus importantes au meilleur coût et qui peut permettre des sauts technologiques intéressants pour certains pays* ».

Surtout, l'avis insistait sur **la difficulté d'établir des règles d'allocation initiale des permis négociables** quelle que soit l'échelle à laquelle ce système serait appliqué.

En effet, il était observé que **le mode d'allocation initial ne pourrait manquer d'engendrer des effets de redistribution entre pays** ou zones et entre secteurs économiques à l'intérieur d'un pays ou d'une zone.

Dans l'hypothèse d'une allocation initiale gratuite, les permis alloués seraient calculés sur la période passée sans forcément prendre en compte les efforts effectués au cours de cette période. En revanche, d'autres critères ont été proposés, liés à la population ou au produit intérieur brut.

Par ailleurs, **les modalités pratiques de fonctionnement ne manqueraient pas de soulever des problèmes**. Par exemple, l'identité des opérateurs (États ou entreprises ?), les possibilités d'échanges, l'ouverture du

système à des États non liés par des objectifs quantitatifs, le fait que le CO₂ ne soit pas le seul gaz à effet de serre...

Aujourd'hui, alors qu'il est proposé au Parlement français de se prononcer sur la ratification par la Communauté européenne du protocole de Kyoto, et également d'approuver un texte européen sur les quotas d'émissions, **ces interrogations gardent toute leur portée**. En effet, les solutions proposées par ces textes ne semblent pas avoir été élaborées sur la base de réponses apportées aux questions énoncées ci-dessus.

A propos des **applications conjointes**, l'avis avait observé que l'OCDE prévoyait, pour la période **au-delà de 2050**, des émissions en forte augmentation pour **la Chine et l'Inde**, qui concentreraient, à elles deux, plus de 40 % des émissions de CO₂ mondiales contre 26 % pour l'ensemble des pays de l'OCDE.

Dans ce cadre, des dépenses de réduction des émissions de gaz à effet de serre, bien inférieures à celles consenties en Europe, pourraient avoir lieu sur des installations obsolètes de ces pays.

Demeure la question de savoir à qui profiteraient les gains réalisés : à l'État investisseur ? à l'État bénéficiant des investissements ? ou aux deux ? et alors, selon quelles clés de répartition ?

3. Le contexte énergétique général

L'avis avait également souligné à quel point l'accroissement démographique jouerait sur les émissions futures de gaz à effet de serre, notamment parce que, au cours du siècle, **l'essentiel de la population mondiale sera devenu urbain** et que, indépendamment du degré de développement, **l'urbanisation consomme davantage d'énergie** et de manière plus diversifiée que celle requise par la population rurale.

Par ailleurs, le Conseil économique et social notait, en citant le G.I.E.C., que si, par exemple, le charbon était remplacé par le gaz, une nouvelle répartition géographique des taux de dépendance énergétique apparaîtrait, et que **le stockage de CO₂, notamment dans les océans, risquait de poser de « redoutables problèmes environnementaux »**.

De plus, **le GIEC, comme la Commission européenne, considéreraient avec faveur la préférence accordée aux sources d'énergies renouvelables** tandis que le nucléaire n'était évoqué que pour mémoire dans la communication de la Commission.

Par ailleurs, déjà en 1997, l'avis rappelait que le G.I.E.C. considérait que les émissions de CO₂ dues aux transports augmenteraient fortement d'ici à

2050 (parc automobile, transport aérien, lequel était supposé multiplier par 10, en 2050 par rapport à 1990, ses émissions de CO₂).

En conclusion, **le Conseil économique et social souhaitait la fixation d'un plafond à terme pour les émissions de CO₂ exprimées en tonnes de CO₂ par habitant et, parallèlement, la révision du choix de l'année 1990 comme année de référence.**


Il avait surtout noté que l'Union européenne avait placé la France devant **le dilemme** suivant : ou contraindre sa croissance économique, jusqu'à des limites socialement insupportables, ou encore, être amenée à un choix obligatoire d'une politique énergétique ou, enfin, ne pas respecter un engagement international. Il avait insisté sur **l'imprudence de débattre de moyens à mettre en œuvre si les objectifs n'avaient pas été précisément définis.**

Quatre années plus tard, votre Rapporteur ne peut que souligner la pertinence de cette analyse et déplorer que de nouvelles étapes aient été franchies sans que les préalables, évoqués pourtant sans détours, n'aient été levés.

Par la suite, au cours des négociations, s'est réalisée la crainte évoquée par le Conseil économique et social, à savoir **une position de l'Union européenne se présentant de plus en plus comme un engagement unilatéral à valeur exemplaire et non comme une base de négociation.**


En 1997, **le Groupe des entreprises privées**, dans sa déclaration sur l'avis, avait beaucoup insisté sur l'incertitude scientifique qui dominait le débat sur l'effet de serre, mettant en doute le principe de précaution. Sur ce point, la position des entreprises privées a évolué depuis, compte tenu des nouveaux éléments apportés par la communauté scientifique.

Quant au **Groupe des entreprises publiques**, il avait critiqué très directement les propositions de la Commission européenne, les qualifiant même de pièges et les taxant d'être « *favorables aux grands pollueurs consommateurs de charbon* » (Grande-Bretagne et Allemagne en Europe) et tout à fait « *insupportables* » pour les pays « *propres* » (France, Suède et Belgique), ces propositions revenant, selon ce Groupe, à « *faire subventionner par la France la conversion au gaz des grands charbonniers* ».

Dans son **avis rendu en 2000** sur « *Le suivi de l'effet de serre* »  , le Conseil économique et social a actualisé et élargi son analyse.

IV. L'ACCAPAREMENT DU PROBLÈME PAR DES PENSEURS SPÉCIALISÉS

A. LES CLIMATOLOGUES


Pour mener les conférences internationales actuelles sur l'application du protocole de Kyoto, tout le monde se repose sur les travaux du **GIEC** (ou **IPCC**). Il est donc intéressant d'étudier le mécanisme d'élaboration **des rapports** de ce groupe d'experts en rappelant que ces documents regroupent les travaux de plus d'une centaine d'auteurs principaux travaillant eux-mêmes à partir des textes de plus de 500 contributeurs divers, qu'une vingtaine de correcteurs reprennent ce travail à partir des observations de près de 700 relecteurs et que la somme de cette publication dépasse les 2.500 pages. D'où la nécessité de présenter une version plus accessible de cet énorme travail sous la forme d'**un résumé pour les décideurs politiques** appelé SPM (*summary for policy makers*) .

Il est donc évident que le passage du premier document, le rapport, au second, le résumé, doit être entouré de garanties réelles. Près de 50 auteurs contribuent à l'élaboration de ces résumés, mais à ce stade, les scientifiques qui ont collaboré au rapport de base et les organisations non gouvernementales sont seulement consultés.

Le choix de la rédaction finale dépend ensuite de 400 délégués des pays participants qui possèdent, ou non, une compétence sur les disciplines scientifiques traitées. Chaque mot du résumé doit être approuvé à l'unanimité, les discussions étant d'ailleurs menées simultanément en cinq langues.

A cette étape, **les représentants des gouvernements poursuivent des buts fondés sur des objectifs politiques plutôt que sur le contenu scientifique du rapport initial** et ce point a été naturellement critiqué de nombreuses fois au cours des années passées. C'est pourquoi, il semblerait souhaitable qu'à l'avenir soient clairement mentionnées, au sein du résumé pour les décideurs, **les opinions divergentes** et qu'à tout le moins, il soit clairement indiqué que **les résumés pour les décideurs n'émanent pas uniquement du travail des scientifiques**, même si les principaux rapporteurs sont présents et s'ils peuvent faire entendre leurs observations qui sont prises en compte par les représentants des gouvernements. Certains ont suggéré de soumettre le texte final du résumé à l'assemblée plénière des rédacteurs du rapport de base. Sinon, fatalement, les rédacteurs de ce résumé risquent de ne prendre dans le rapport de base que les faits propres à étayer leurs convictions initiales. En outre, les nombreuses réserves de méthode ou de fond exprimées au long du rapport et qui sont essentielles compte tenu de la complexité du sujet sont gommées dans le résumé.

En lisant les travaux du GIEC, l'ensemble des observations ci-dessus doit demeurer présent à l'esprit sans pour autant conduire à dénier toute valeur au résumé pour les décideurs. A cet égard, le travail mené par l'**Académie nationale des sciences des États-Unis d'Amérique** en **2001**, pour apprécier si le résumé pour les décideurs reflétait bien le rapport de base, a abouti à considérer que le résumé était bien cohérent avec le corps du rapport, mais que, toutefois, **le résumé pourrait être enrichi par l'explication précise de la portée des lacunes ou incertitudes à partir desquelles les conclusions du rapport ont été élaborées.**

Ces observations rejoignent celles développées par M. Philippe ROQUEPLO lors de son audition  devant votre Rapporteur.

De plus, il est vraisemblable que beaucoup de scientifiques spécialistes du climat brossent un tableau un peu trop négatif de la réalité estimant probablement que, sans cela, les politiques ne se mettraient pas en action. Cette remarque est également valable pour l'opinion publique en général qui risquerait de ne pas s'intéresser assez à cette question si elle avait en mémoire l'ensemble des incertitudes qui sous-tendent les conclusions présentées.

Enfin, d'autres voix critiques se sont élevées pour observer que le colossal effort de synthèse des opinions scientifiques des chercheurs du monde entier que représentent les rapports du GIEC aurait mérité d'être mené également au sujet de la déforestation ou du risque de pénurie d'eau potable, ou encore de la pollution des océans ou des modifications génétiques.

Une partie de ces critiques a été présentée par la revue « *Nature* »¹, sous le titre « *consensus science or consensus politics* », un consensus de la science ou des consensus politiques.

Dans le rapport du GIEC paru en octobre 2001, est rappelée la méthodologie utilisée par le groupe de chercheurs internationaux travaillant sous l'égide de l'ONU pour essayer d'établir des simulations du climat du futur.

Il y est souligné que **la complexité des processus en œuvre dans le système climatique interdit de se livrer simplement à l'extrapolation du passé ou de statistiques pour en tirer des projections**. Même si un modèle climatique ne peut être qu'une simplification mathématique représentant le climat de la Terre, l'élaboration de tout modèle exige une connaissance approfondie des mécanismes physiques, géophysiques, chimiques et biologiques qui gouvernent le système climatique.

Les équations mathématiques utilisées couvrent trois dimensions du globe. Elles s'efforcent de traduire aussi bien l'atmosphère que l'océan, la

¹ Volume 412, 12 juillet 2001, pages 112 à 114

surface des continents, la cryosphère◊ -ou le système de l'eau- et la biosphère. Pour cela, le bloc terrestre et son atmosphère sont divisés en compartiments, en général de 250 kilomètres de long et d'environ 1 kilomètre de hauteur, mais d'autres résolutions plus fines ou plus larges sont parfois également retenues.

Les évolutions physiques qui ont lieu dans ces espaces sont simplifiées selon la technique connue sous le nom de **paramétrisation**◊.

Ensuite, les différents modèles concernant soit l'atmosphère, soit les océans, soit d'autres éléments sont développés séparément ou couplés entre eux.

Cependant le GIEC relève que **beaucoup d'aspects du climat de la Terre sont chaotiques**, ce qui signifie qu'à un moment donné, un système peut être très sensible à de petites perturbations de l'équilibre initial, et cela rend **très difficile toute prévision relative à l'évolution dudit système**.

Pour établir la réalité de l'influence de l'homme sur le changement climatique, les chercheurs du GIEC se sont intéressés non seulement aux températures des mille dernières années, mais aussi à l'analyse détaillée des changements de température au cours des quelques dernières centaines d'années en se demandant si la prolongation des paléotempératures relevées pouvait expliquer les observations les plus récentes. Il est résulté de ces travaux que **les récents changements ne peuvent s'expliquer par une simple variation interne des données climatiques mais que celle-ci a été amplifiée par un autre facteur, qui l'avait probablement multipliée par deux, voire davantage**.

Ces résultats s'appuient notamment sur trois différents modèles climatiques (HadleyCentre, au Royaume-Uni, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, aux États-Unis d'Amérique et Hambourg). Par ailleurs, **les forçages radiatifs naturels observés sur le dernier demi-siècle ne permettent pas davantage d'expliquer le récent réchauffement climatique observé** dans la mesure où le forçage radiatif naturel résultant du soleil ou de l'activité volcanique a été négatif au cours des deux, voire des quatre dernières décennies.

Les chercheurs du GIEC en sont venus à la conclusion que, **sans le forçage radiatif anthropique, il est impossible d'expliquer les évolutions des trente dernières années** et que, même si les incertitudes demeurent sur les signaux climatiques d'un réchauffement, il apparaît évident que la part de l'homme est importante dans celui-ci.

Dans leur recherche, les membres du GIEC prennent grand soin d'obtenir les mesures les plus fiables et intègrent le fait que **plusieurs décennies de données sont indispensables pour distinguer entre les**

signaux d'un réchauffement artificiel et les manifestations d'une variabilité climatique naturelle. Ils soulignent aussi qu'actuellement, **il n'est pas possible de faire une telle distinction sur une échelle spatiale inférieure à 5.000 kilomètres**, la difficulté étant de simuler la variabilité naturelle de manière crédible avec les modèles climatiques sur des échelles de quelques centaines de kilomètres.

Ces observations résultent de l'emploi de modèles de plus en plus perfectionnés prenant par exemple en compte à la fois les gaz à effet de serre et les aérosols soufrés.

Or, il apparaît que **plus les causes de réchauffement dues à l'homme sont prises en compte, plus les simulations des modèles cadrent avec la réalité des observations.**

Par ailleurs, la prise en compte des aérosols soufrés est indispensable dans la mesure où le forçage provenant de ces aérosols peut aboutir à un refroidissement et donc limiter la constatation de l'ampleur du réchauffement mais, contrairement aux travaux effectués il y a encore quelques années, l'importance du signal d'un réchauffement de l'atmosphère dû à l'homme apparaît maintenant d'une ampleur telle que son existence devient indubitable, résultant bien davantage qu'auparavant des observations.

Le GIEC insiste sur les incertitudes qui demeurent, par exemple dans l'effet du réchauffement provenant du Soleil comme de l'activité volcanique, notamment parce que les données sur ces phénomènes n'ont pas plus de deux décennies d'existence. Le GIEC relève également les incertitudes relatives aux aérosols et au changement dans l'usage des terres, beaucoup de ces effets n'ayant pas été pris en compte dans les études menées, mais il est vraisemblable que l'influence de ces facteurs est plus locale que globale.

Enfin, le GIEC ne passe pas sous silence **les réponses différentes résultant de l'emploi de tel ou tel modèle** ; il note qu'il reste nécessaire de quantifier et de réduire ces différences en obtenant de meilleures données d'observation et de meilleures techniques de fabrication des modèles.

Mais, au total, **le GIEC considère que l'essentiel du réchauffement observé au cours des cinquante dernières années résulte, sans ambiguïté, de l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre.**

Avant le rapport d'octobre 2001, le GIEC avait lancé, en **1996**, la rédaction **d'un rapport spécial sur les différents scénarii d'émission de gaz à effet de serre**, approuvé en mars 2000. **Quarante scénarii ont été comparés** qui incluaient, outre les données climatiques, les principales données démographiques, économiques et technologiques.

Certains scénarii décrivaient un monde en croissance très rapide et assez homogène, d'autres un monde très hétérogène ; d'autres modèles encore

représentaient un monde aboutissant à des solutions convergentes en matière économique, sociale ou de développement durable ; d'autres enfin, retraçaient des solutions locales, un développement économique de niveau intermédiaire et des solutions de protection environnementale et d'équité sociale équilibrées.

Là encore, le GIEC insistait sur **les incertitudes assez larges entourant chaque scénario** (celles-ci allaient de moins de 10 % à plus de 30 %) et concluait à une concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère oscillant entre 490 ppmv et 1260 ppmv, c'est-à-dire entre 115 % et 350 % d'augmentation au-delà du seuil constaté en 1750.

Ces modèles poursuivaient la projection des émissions de gaz à effet de serre mais aussi de gaz à effet de serre indirect (NO_x, CO, COV), mais ils notaient surtout que **l'émission de gaz à effet de serre envisagée risquait de détériorer l'ensemble de l'environnement plus vite que ne l'aurait fait le changement de climat**, ce qui n'est certes pas une conclusion réconfortante, mais vient renforcer la nécessité de resituer l'étude du changement climatique dans le contexte le plus général et le plus interdisciplinaire possible.

Cette étude du GIEC montrait aussi que **la part du CO₂ dans le total des émissions de gaz à effet de serre risquait de continuer à augmenter en passant de la moitié aux trois-quarts des émissions totales**. Aucune estimation n'était avancée quant aux effets locaux du futur réchauffement.

B. LES AUTRES CHERCHEURS

Parallèlement aux travaux du GIEC, les chercheurs mènent de très nombreuses études dont ils alimentent, le cas échéant, les sessions internationales


Un rappel de quelques aspects de l'état de la recherche en France sur les changements climatiques conduit à insister sur **le caractère pluridisciplinaire des champs d'investigation**.

1. Les sciences physiques

Le programme national d'étude de la dynamique du climat (PNEDC) regroupe le CEA, le CEMAGREF, le CNES, l'IFREMER, l'IFRTP, l'INSU, le ministère de la Recherche, Météo France, le ministère de l'environnement et l'IRD.

Il étudie à la fois **l'atmosphère, l'océan, la cryosphère et la biosphère**.

2. L'adaptation aux changements climatiques

Les recherches sur ce thème sont essentiellement effectuées dans le cadre du **programme G.I.C.C.** du ministère de l'Aménagement du territoire et de l'environnement (M.A.T.E.) sous la présidence de M. Jean-Claude ANDRÉ .

Ce programme regroupe des équipes de sciences dures et de sciences humaines et travaille sur **trois horizons : 2010, 2030 et 2100.**

Votre Rapporteur relève à cet égard qu'il ne connaissait pas encore les objectifs du G.I.C.C. lorsque, à l'occasion de l'étude de faisabilité du présent rapport, il a envisagé les trois horizons 2025, 2050 et 2100 ; il se réjouit donc d'une analogie certaine des approches respectives.

3. La technologie

Dans ce domaine, l'**ADEME** conduit sept actions :

- réduction du contenu carbone de l'énergie,
- amélioration de l'efficacité énergétique et maîtrise de la demande ;
- réduction des émissions de gaz à effet de serre dans l'industrie ;
- stockage du CO₂ ;
- maîtrise des impacts des gaz à effet de serre en agriculture ;
- comportements et modes de vie ;
- cadre juridique et financier d'un marché de CO₂.

4. La recherche européenne

Au niveau de l'Europe, les **5^{ème} et 6^{ème} Programmes-Cadres de Recherche et Développement (P.C.R.D.) de l'Union européenne** comprennent une action clé « *Changement planétaire, climat et biodiversité* » et un thème prioritaire sur le développement durable et le changement planétaire.

L'ensemble de ces recherches demande de longues années d'investigation et donc un soutien pérenne accordé à celles-ci, tant en chercheurs qu'en financements.

C. LES JURISTES ET LES CONFÉRENCES INTERNATIONALES

RAPPEL CHRONOLOGIQUE DES PRINCIPALES CONFÉRENCES MONDIALES SUR L'ENVIRONNEMENT

➤ **1972** (Stockholm) : autolimitation de certaines productions (énergies fossiles) ; répartition plus équitable des fruits de la croissance ; méthodes d'exploitation plus respectueuses des milieux ; règles de gestion plus rationnelles de l'espace, de l'énergie, des ressources ; prise en charge des patrimoines communs.

➤ **1973** : Création du programme des Nations-Unies pour l'environnement (**PNUE**) : législation internationale de l'environnement. Création de ministères de l'environnement dans nombre de pays.

➤ **1982** : Charte mondiale pour la nature.

➤ **1988** : Création du **Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (G.I.E.C ou I.P.C.C)**.

➤ **1992** (Rio de Janeiro) : Adoption de la **Charte de la Terre** ; concept de **développement durable** ; principe pollueur-payeur ; finalités sociales de l'activité économique ; adoption de l'Agenda 21 (plan d'action pour le XXI^{ème} siècle).

Adoption de **deux conventions-cadres sur les changements climatiques et la diversité biologique**.

➤ **1995** : Conférence des Parties de la convention sur les changements climatiques (**COP 1, Berlin**). Adoption de la logique des **quotas d'émissions de gaz à effet de serre**.

➤ **1997** : Conférence des Parties (**COP 3, Kyoto**). **Les pays industrialisés, dits de l'annexe B du protocole, s'engagent à réduire ou contrôler leurs émissions de six gaz à effet de serre sur la période 2008–2012**. Les engagements respectifs sont les suivants : Union européenne : - 8 % ; États-Unis d'Amérique : - 7 % ; Japon : - 6 % ; Russie : stabilisation ; Australie : + 8 %. Des **mécanismes de flexibilité** accompagnent ces engagements quantitatifs.

➤ **1998** : Conférence des Parties (**COP 4, Buenos Aires**). Tentative des États-Unis d'Amérique d'accélérer la mise en œuvre de **permis d'émissions négociables** ; échec du fait du désaccord sur la question des bases donnant accès au marché des droits, le Tiers-monde refusant que les droits d'émettre soient fondés sur les émissions existantes.

➤ **1999** : Conférence des Parties (**COP 5, Bonn**). Négociation du plan d'action de Buenos Aires.

➤ **2000** : Conférence des Parties (**COP 6, La Haye**). Echéec dû à l'intransigeance des États-Unis d'Amérique, du Japon, du Canada et de l'Australie qui souhaitaient limiter le protocole à ses **mécanismes de flexibilité** et accroître la prise en compte des **puits de carbone**.

➤ **2001** : Conférence des Parties (**COP 7, Bonn**). Compromis sur un accord environnemental ambigu accordant la prise en compte de **puits de carbone supplémentaires** pour les États-Unis d'Amérique et le Japon.

➤ **2001** : Conférence des Parties (**COP 8, Marrakech**). Traduction juridique des **règles de mise en œuvre** du protocole de Kyoto. **Comité ad hoc d'observance**. Moyens techniques et financiers en faveur des **pays en développement**.

La limitation de l'émission de gaz à effet de serre ne peut résulter que d'une approche internationale puisque l'intensification dudit effet de serre est un phénomène planétaire indépendant du lieu d'émission des gaz.

Il est donc satisfaisant qu'une tentative de coordination internationale soit intervenue concernant ce sujet. Mais, compte tenu de nombreuses réticences et des divergences d'intérêt de grands groupes de pays, de la difficulté également de discerner dès à présent entre les gagnants et les perdants éventuels, la régularité du rythme même des conférences internationales, qui aurait dû inciter à l'approfondissement méthodique d'accords mûrement réfléchis, a fini par se muer en rebonds chaotiques allant de compromis en échecs ou d'engagements mal consentis en décisions peu acceptées.

Sur la question fondamentale du choix à opérer entre la renonciation à des émissions de carbone ou le paiement d'une taxe-carbone liée aux émissions, nombre de pays ont fluctué dans leur approche, donnant le sentiment d'un choix non réellement effectué.

C'est ainsi qu'au départ **la France** était favorable à l'instauration d'une taxe plutôt qu'à des quotas, tandis que les États-Unis d'Amérique étaient opposés à la taxe. La position de la France fut affaiblie au sein de **l'Union européenne** par ceux de ses voisins qui souhaitaient bien une taxe, mais non simplement une taxe sur le carbone, plutôt une taxe frappant à la fois le carbone et l'énergie, ce qui incluait le nucléaire et pénalisait donc la France.

En l'absence de choix clairs des divers partenaires économiques majeurs, **l'accord se fit en 1992, à Rio de Janeiro, sur un objectif non contraignant d'un retour en l'an 2000 au niveau des émissions de 1990**, ce qui évidemment conduisait à des répartitions inéquitables de l'effort. Lors de la Conférence des Parties tenue à Berlin en **1995, la logique des quotas l'exporta**, alors que la France, hostile à ce système, n'avait proposé aucune autre solution.

En **1997**, lors de la troisième Conférence des Parties tenue à **Kyoto**, l'Union européenne, présente en tant que telle, n'est pas arrivée pour autant avec des propositions cohérentes, ni sur les politiques nationales à mener, ni sur les permis d'émissions négociables ; son seul point d'unité consistait alors en la fixation d'objectifs forts de baisse des émissions. De leur côté, les États-Unis d'Amérique avaient comme priorité de faire adopter les permis d'émissions négociables. Le résultat fut **la fixation d'objectifs ambitieux**, sauf pour la Russie, et la grande incertitude sur les tendances d'émissions futures conduisit, dans le doute, à se rallier à **des mécanismes de flexibilité**.

Craignant une avancée excessive des États-Unis d'Amérique, l'Union européenne obtint de limiter les mécanismes de flexibilité en les bornant à

n'être que des compléments aux efforts nationaux (système dit de la suppléantarité).

Cinq ans après la Conférence de Rio, un choix clair n'avait toujours pas été effectué sur l'approche par les quantités ou par la fiscalité. Pour autant, les conférences diplomatiques se succédaient et engendraient des textes mêlant les deux principes.

A compter de 1998, le débat fut encore obscurci par l'idée **d'un plafond quantitatif imposé aux échanges de permis** et connu sous le nom de « *concrete ceiling* ». Lancée par l'Allemagne et soutenue par la France, cette position finit par être adoptée par l'Union européenne qui en fit son mot d'ordre de 1998 à 2000. Toutefois, cette attitude était ambiguë, dans la mesure où la « bulle » européenne, consistant à affecter à l'ensemble de l'Union un objectif de réduction de 8 %, permettait en réalité d'organiser *de facto* au sein de celle-ci un genre de troc et non de plafonner les échanges : les efforts allaient de - 21 % pour l'Allemagne à 0 % pour la France et même à l'absence de tout effort, avec + 27 % pour le Portugal, autorisé à augmenter ses émissions.

Quoi qu'il en soit, **ce système reste mal perçu par les pays du Tiers-monde qui reprochent au protocole de Kyoto d'avoir fondé les droits d'émissions sur les émissions existantes, c'est-à-dire sur un partage inégal de l'usage de l'atmosphère** à l'opposé du principe de l'égalité des émissions par tête.

C'est dans ce contexte qu'est intervenue la **Conférence de La Haye, en novembre 2000**, à la veille des résultats définitifs des élections américaines. Une telle date explique largement que le texte final, adopté *in extremis* à la suite d'une initiative de dernière heure du Président de la Conférence, Jan PRONK, ait tenté de concilier les positions du Groupe des 77 et celles des États-Unis d'Amérique et du Japon, ces deux derniers pays obtenant des tonnes supplémentaires sous la forme de puits de carbone nouveaux.

Par la suite, lors de la **Conférence de Marrakech en 2001**, chacun s'est accordé à considérer comme un succès ce qui n'était que la prolongation des concessions faites à La Haye et la circonstance même que les négociations se soient poursuivies fut considérée en soi comme une victoire, cet aspect prenant quelque peu le pas sur les conclusions mêmes de la négociation (1).

(1) Sur les ambiguïtés du dialogue intergouvernemental sur les questions d'environnement de 1992 à 2001, M. Jean-Charles HOURCADE, directeur de recherche au CNRS et directeur d'études à l'École des hautes études en sciences sociales a publié un article très synthétique intitulé ; « Gouvernements : un dialogue difficile » (*Problèmes économiques*, 25 avril 2001, pages 1 à 7).

D. LE PROTOCOLE DE KYOTO

1. L'ambition du protocole de Kyoto

A la suite de la **convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique** (C.C.N.U.C.C.) signée en **1992**, un protocole additionnel a été élaboré à **Kyoto** à l'occasion de la troisième conférence des Parties, en décembre **1997**.

La convention-cadre est signée aujourd'hui par 83 États. **La France a signé le protocole de Kyoto** le 29 avril 1998 ; elle fut ensuite le premier État de l'Union européenne à entamer les procédures de ratification terminées le 10 juillet 2000 au moment de la présidence française de l'Union européenne.

Le principal objectif du protocole de Kyoto consiste à obtenir **une réduction de l'émission de gaz à effet de serre**. Pour chaque pays signataire, cet objectif prend la forme d'**engagements différents**. Sa mise en œuvre peut dépendre d'**instruments variés**, résultant tant de mesures nationales que de mécanismes de flexibilité associant plusieurs États.

L'objectif global de réduction de gaz à effet de serre fixé par le protocole de Kyoto aux pays industrialisés s'élève à 5,2 % en moyenne sur la période 2008-2012 par rapport aux émissions de l'année 1990.

Quelles que soient les appréciations portées sur le niveau de cet objectif, celui-ci est plus ambitieux que celui retenu initialement dans la convention-cadre relative au changement climatique qui tendait seulement à stabiliser les émissions de gaz à effet de serre en 2000 à leur niveau de 1990.

En outre, l'ambition du protocole de Kyoto résulte aussi de **la modification de la liste des gaz à effet de serre visés**. En effet, en plus du dioxyde de carbone (**CO₂**), le méthane (**CH₄**), l'oxyde nitreux (**N₂O**), les hexafluorocarbures (**HFC**), les hydrocarbures perfluorés (**PFC**), et l'hexafluorure de soufre (**SF₆**) sont désormais concernés.

De plus, **le protocole de Kyoto ne soumet pas tous les pays aux mêmes obligations**. C'est ainsi que **seuls les pays industrialisés et les pays à économie en transition vers une économie de marché** (au sein du protocole, ces pays sont désignés par l'expression « pays de l'Annexe B») **sont soumis à une obligation chiffrée de réduction de leurs émissions**.

En revanche, **les pays en développement** ont seulement pour obligation de **préparer un programme national relatif à l'effet de serre**, et de **soumettre une communication nationale** sur ce sujet. **Aucun calendrier** n'est prévu pour ces deux obligations. De plus, ces États peuvent à tout

moment demander à être soumis à un objectif de réduction de leurs émissions. Cette possibilité a été utilisée par l'Argentine et le Kazakhstan.

Au sein des pays industrialisés et de ceux à économie de transition, plusieurs catégories coexistent : chacun des États de l'Annexe I de la convention-cadre est soumis à un objectif de réduction fixé par l'annexe B du protocole et propre à chaque pays. Ainsi, **sur la période 2008-2012, la France comme l'Allemagne doivent réduire de 8 % leurs émissions respectives.** Les États-Unis d'Amérique doivent les réduire de 7 %, le Japon de 6 %, alors que la Russie doit simplement stabiliser ses émissions, et que certains États comme l'Australie peuvent augmenter les leurs (+ 8 % en l'occurrence).

2. La souplesse des engagements et des mécanismes de Kyoto

Certains États peuvent décider de remplir conjointement leurs engagements. Dans ce cas, ils redistribuent entre eux leurs quotas, selon une répartition différente de celle retenue dans le cadre du protocole. Toutefois, le total cumulé de leurs émissions ne doit pas dépasser l'addition de leurs engagements individuels.

Pour concrétiser leur volonté, ces États signent **un accord séparé**, notifié aux autres parties. Ces États sont alors considérés comme ayant formé **une « bulle »**. **Les États-membres de l'Union européenne ont choisi de procéder de la sorte**, et c'est ainsi que **l'objectif de résultats de la France est passé de -8 % à 0 %**, tandis que celui de l'Allemagne passait de - 8 % à - 21 %, et c'est donc **l'ensemble de l'Union européenne qui doit réduire ses émissions de 8 %**.

En cas d'impossibilité d'atteindre de tels objectifs, **les États engagent conjointement leur responsabilité** ainsi que celle de l'organisation régionale concernée.

Par ailleurs, **les pays en transition vers une économie de marché** ont la possibilité de demander à la conférence des Parties de retenir **une autre date de référence que 1990** pour respecter leurs engagements, dans le cas où ils ne sont pas à même de communiquer leurs inventaires nationaux de stocks de carbone.

Il peut être signalé que, dès la deuxième conférence des Parties, **la Bulgarie, la Hongrie, la Pologne et la Roumanie ont obtenu que leurs réductions d'émissions soient comptabilisées à partir d'une autre année de référence que 1990.**

En outre, dans l'exécution de leurs engagements, les pays en transition jouissent d'une latitude plus grande que les pays industrialisés.

Enfin, **pour certains gaz à effet de serre, des années de référence différentes peuvent être retenues** ; par exemple, 1995 au lieu de 1990 pour les hydrofluorocarbures, les hydrocarbures perfluorés, les hexafluorures de soufre.

D'un point de vue général, l'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre suppose **l'adoption de politiques et de mesures nationales**, dont le protocole fournit une liste non exhaustive, qui comprend la protection et le renforcement des puits et réservoirs de gaz à effet de serre, la recherche et l'utilisation accrue de sources d'énergies renouvelables, la réduction et la suppression graduelle des imperfections du marché tendant à favoriser les secteurs émettant des gaz à effet de serre (incitations fiscales, subventions...), la limitation ou la réduction des émissions en provenance des transports, la réduction des émissions de méthane dans le secteur des déchets, de la production, et de la distribution d'énergie.

De plus, **des mécanismes de flexibilité** prévus dans le protocole permettent à des pays d'accroître leurs droits d'émissions, **soit en échangeant des droits d'émissions** avec d'autres pays de l'Annexe I, **soit en finançant des projets d'aides** dans les pays en développement. Au cours des négociations, **l'Union européenne a obtenu que ces mécanismes de flexibilité n'interviennent qu'en complément des politiques et mesures nationales.**

Trois types de mécanismes de flexibilité ont été retenus :

① **la mise en œuvre conjointe (art. 6)** : elle permet à un pays d'obtenir des unités de réduction des émissions, en contrepartie du **financement, dans un autre pays, d'un projet destiné à réduire les émissions de gaz à effet de serre** à condition que les pays respectifs soient d'accord et que le projet financé permette une réduction supplémentaire des émissions par rapport à celles qui pourraient être obtenues par des mesures nationales.

② **le mécanisme de développement propre (art. 12)** : ce mécanisme permet aux pays industrialisés d'obtenir des droits supplémentaires d'émissions quand ils investissent dans **des projets de réduction d'émissions dans des pays en développement.**

Les pays bénéficiaires n'étant pas soumis à des quotas d'émissions, **les réductions d'émissions doivent être certifiées par des auditeurs indépendants** qui vérifient si les projets procurent des avantages réels, mesurables et durables liés à l'atténuation des changements climatiques, et si ces projets permettent une réduction supplémentaire d'émissions par rapport à celles qui auraient eu lieu en l'absence d'activités certifiées.

Ces conditions d'évaluation devront être précisées rapidement pour que les réductions d'émissions certifiées obtenues entre 2000 et 2008 puissent être utilisées dans le cadre de la première période d'engagement, 2008-2010. Il est prévu qu'une partie des **fonds provenant d'activités certifiées** couvre des dépenses administratives liées au protocole, et permette d'aider les pays en développement particulièrement vulnérables aux changements climatiques.

③ **L'échange de permis d'émissions négociables (art. 17)** : il s'agit de permettre aux **pays qui ont pris des engagements chiffrés** de procéder entre eux à un échange de droits d'émissions ; de la sorte, un pays qui aurait dépassé son quota pourrait racheter une partie des quotas d'un État dont les émissions se seraient trouvées inférieures au niveau accepté dans le protocole.

A la suite de l'échec de la Conférence de La Haye, du fait de l'attitude des États-Unis d'Amérique, une septième Conférence des Parties s'est tenue à Bonn en juillet 2001, puis une huitième Conférence des Parties en novembre 2001 à Marrakech.

Après l'accord politique intervenu à Bonn, **la Conférence de Marrakech a traduit les règles de mise en œuvre du protocole de Kyoto en termes juridiques**. Ont été en particulier définis le calcul des émissions et de leur réduction, l'intégration des puits de carbone dans les objectifs de réduction, les modalités et les missions du système d'observance et les règles et critères d'éligibilité aux mécanismes de développement propre.

Le système d'observance sera finalement régi par un comité ad hoc, ce qui est le premier exemple du genre en matière d'environnement international. Des moyens techniques et financiers importants ont été également prévus en faveur des **pays en développement** et les membres du Comité exécutif du mécanisme de développement, au nombre de quinze, ont été désignés.

La France, signataire de la Convention climat dans le cadre de l'ONU, a l'obligation d'établir périodiquement **une Communication nationale** (1) pour informer des dispositions nationales liées à l'évolution du climat, aider à remplir les engagements souscrits et favoriser la communication d'informations.

De telles communications ont été effectuées en 1995 1997 et 2001.

Depuis la deuxième communication nationale, la MIES a été renforcée ainsi que la **coopération européenne** portant sur la coordination des mesures de limitation des émissions de gaz à effet de serre et du suivi des émissions.

(1) *Le texte intégral de la troisième communication nationale figure dans le CD Rom sur les changements climatiques joint au présent rapport* .

Des **réglementations plus strictes** ont été mises en place comme l'obligation de couverture des décharges et de récupération de biogaz, ou de nouvelles obligations découlant de la réglementation thermique de l'habitat. De plus, **un programme de sensibilisation à l'environnement, aux économies d'énergie et à l'efficacité énergétique** a été lancé.

E. LES ÉCONOMISTES

La création de permis d'émissions de gaz à effet de serre a été introduite dans le protocole de Kyoto à la demande des États-Unis d'Amérique qui ont souhaité que ces permis puissent être échangés en s'inspirant de l'expérience menée chez eux à compter de 1977 puis, à partir de 1990, à propos de l'émission de dioxyde de soufre (SO₂) (Clean Air Act).

A cette époque, **les États-Unis d'Amérique ont créé un marché national de permis à émettre du dioxyde de soufre entre les centrales thermiques** sur le fondement d'un plafond national. Ce système, devenu contraignant en 1995, avait pour objectif d'atteindre en vingt ans une réduction de 40 % des émissions de SO₂ par rapport à 1980. Ce programme devait être étendu en 2000 à toutes les centrales thermiques dotées dès lors d'un quota d'émissions. Bien accepté par les acteurs économiques, ce système a débouché sur de **nombreux échanges de permis**.

Mais, il est à noter que ce marché repose sur **des méthodes performantes de mesure des émissions**, et qu'existe **un ensemble de sanctions et de pénalités** en cas de défaillance. Enfin, et ce n'est pas la moindre différence avec les permis d'émissions de gaz carbonique prévus par le protocole de Kyoto, **la répartition initiale des permis d'émission de SO₂ entre les compagnies électriques américaines n'a pas à remédier aux distorsions de concurrence ni aux disparités de situation rencontrées au niveau international pour les permis d'émission de CO₂**.

Pour expliquer le recours aux permis négociables dans le protocole de Kyoto, M. Jean-Charles HOURCADE (1) note que, **même si le système de l'écotaxe est meilleur, il a été écarté par les États-Unis d'Amérique** dès le sommet de Rio en 1992, le mot d'ordre du Président des États-Unis d'Amérique, George BUSH, étant alors « *no new tax* ». A partir du moment où les pays riches (OCDE et pays de l'Est) s'étaient engagés à Kyoto sur un quota, **la création d'un marché de permis négociables est apparu comme un moyen de faire entrer en vigueur un système de quotas**.

(1) *Directeur du Centre International de Recherches sur l'Environnement et le Développement (CIRED), il a été membre de la délégation française aux négociations internationales de Kyoto en 1997, de La Haye en 2000 et de Bonn en 2001, et a également coordonné des recherches internationales socio-économiques pour le GIEC et l'ONU pour les rapports de 1995 et 2001.*

M. Jean-Charles HOURCADE note également que **le plafonnement des échanges de permis a été refusé par les États-Unis d'Amérique** et que **le vrai problème provient des excédents de la Russie et de l'Ukraine dans la mesure où ces pays peuvent vendre des réductions fictives**, l'année de référence étant l'année 1990. Il ajoute que le problème est analogue à celui de la prise en compte de puits naturels de carbone comme les forêts.

Cet auteur rappelle, pour resituer **les permis négociables** dans l'ensemble des mécanismes du protocole de Kyoto, que **les mécanismes de développement propre** permettant aux pays développés d'acquérir des permis d'émissions supplémentaires en échange d'investissement dans des technologies propres dans les pays du Sud, **n'avaient été**, aux dires même de leur inventeur, M. Raoul ESTRADA, Président de la conférence, **qu'un pis aller** qu'il n'aimait pas mais qui avait permis l'approbation de l'ensemble du protocole.

De plus, M. Jean-Charles HOURCADE insiste sur **l'insuffisance du système de contrôle et de sanction du protocole** puisqu'un pays dépassant son quota d'émission doit simplement le signaler et non payer une taxe ou une pénalité et, par la suite, ses dépassements sont reportés d'année en année.

C'est pourquoi, M. Jean-Charles HOURCADE **préconise la prise en charge de l'application du protocole de Kyoto au plus haut niveau de gouvernement et l'instauration de véritables relations entre la connaissance scientifique, les politiques et les médias.**

F. LA PRESSE

Quel est l'organe de presse ou la chaîne de télévision qui n'a, au cours des trois dernières années, réalisé sa « Une » ou produit une émission à **tendance alarmiste sur le changement climatique ?**

D'une manière ou d'une autre, les images, véritables ou de synthèse, d'une tornade, d'un cyclone, d'une inondation attirent l'attention.

Un climatologue peut toujours être cité ou interrogé à l'appui de l'article ou de l'émission alarmiste, quitte à tronquer la fin de la citation ou à interrompre la phrase de l'interview qui nuance le propos ou explique son caractère relatif compte tenu des incertitudes de la science sur le climat.

Une photo, en pleine page, par exemple du moustique éventuellement porteur d'une nouvelle maladie tropicale en fait un monstre menaçant même si cette espèce de moustique se trouve déjà en France depuis longtemps ou si, loin d'être amenée par un réchauffement climatique, elle l'est chaque jour par les nombreux touristes français amateurs d'exotisme.

De même, **une carte virtuelle** de la France ou de l'Europe, aux contours rétrécis par une spectaculaire montée du niveau des océans, conduira chacun à acheter le journal pour y découvrir l'état dans lequel « l'effet de serre » a laissé ses lieux d'habitat ou de villégiature préférés.

De telles cartes ont été diffusées au cours de la période récente et votre Rapporteur gage qu'il en existera d'autres faisant, elles aussi, état d'une élévation du niveau de la mer de 10 mètres, 50 mètres, 100 mètres, 200 mètres..., ces deux derniers niveaux étant totalement invraisemblables, même dans l'hypothèse la plus pessimiste d'une fonte totale des calottes glaciaires.

Sur le moment, qui dispose des moyens de vérifier si le réchauffement évoqué dans l'article ou l'émission peut réellement entraîner la fonte totale ou partielle de l'ensemble des glaciers de montagne ou des glaces de l'Arctique ou de l'Antarctique ?

Qui poussera le souci jusqu'à se demander, en cas de fonte totale des glaces, ce que seraient l'importance du volume d'eau ainsi libéré et l'ampleur de l'élévation du niveau de la mer qu'il produirait ? Pourtant, cette question a une réponse : en cas de fonte totale – très hypothétique, même à très long terme, compte tenu du réchauffement actuellement envisagé – l'élévation du niveau de la mer oscillerait entre 60 et 80 mètres environ. (Audition de M. Paolo Antonio PIRAZZOLI, du C.N.R.S. ☞).

Cela est tout à fait considérable mais constitue une hypothèse d'école ; cela marque les esprits mais se situe très en deçà des niveaux retracés par certaines cartes publiées prédisant des élévations de 100, 150 ou 200 mètres...

Ces publications répondent au désir du public de mieux connaître les conséquences exactes des changements climatiques évoqués et, faute de recevoir de la communauté scientifique la réponse immédiate et immédiatement compréhensible à toutes les questions, l'opinion est portée à se forger à partir de toute information rapide à assimiler.

Pour autant, il est possible que même ces publications alarmistes jouent un rôle utile en amenant chacun à **apprivoiser sa peur des changements climatiques** : admettre que les climats peuvent changer, que la Camargue peut être immergée, qu'un horizon à cinquante ou cent ans est proche en termes de climat (Audition de M. Jacques ARNOULD, du C.N.E.S. ☞), tout cela conduit à prévoir certaines conséquences des changements climatiques, et donc à maîtriser sa peur en se réappropriant son environnement.

CHAPITRE SECOND : LES LIMITES DE L'ANALYSE

I. LES NUAGES ET LES OCÉANS DEMEURENT DES INCONNUES

A l'heure actuelle, en dépit de l'ampleur des efforts de recherche et des progrès inimaginables accomplis dans la connaissance du climat, **d'importantes inconnues et d'innombrables incertitudes demeurent.**

Alors que les climats du passé ont, au cours du siècle et demi qui vient de s'écouler, livré une grande partie de leurs mystères, le changement climatique global auquel l'humanité se trouve désormais confrontée exige de se faire une idée assez précise des climats du futur.

Les modèles climatiques et les supercalculateurs qu'ils nécessitent ont déjà été évoqués ; il a été question aussi des plus récents programmes de recherche et d'expérimentation et nul ne doute que, dans les très prochaines années, des progrès extrêmement spectaculaires soient encore accomplis.

Ils seraient en particulier fort utiles dans deux secteurs : **la microphysique des nuages et les océans.**

Il a déjà été signalé que la connaissance de la microphysique des nuages est encore lacunaire car ce champ d'investigation est très complexe ; que les aérosols sont venus encore compliquer la recherche sur ce thème et que, pour évaluer le réchauffement, il est parfois difficile d'apprécier si un nuage l'accroît ou le ralentit- par exemple, un nuage d'aérosols peut être noir du fait des suies qu'il fixe et donc absorber la chaleur, ou blanc et la renvoyer.

Certains chercheurs ont cependant fait valoir qu'il était inutile d'atteindre la parfaite connaissance de la microphysique des nuages pour s'inquiéter du réchauffement climatique.

Quant aux océans, de très rapides progrès peuvent être espérés des nouveaux moyens d'investigation mis en œuvre récemment.

II. LA MACHINE TERRE N'A PAS DE MODE D'EMPLOI

Les progrès accomplis dans la connaissance du climat et de l'évolution de la Terre placent de plus en plus haut l'exigence des recherches encore à mener.

Les limites de l'inconnu reculent, mais le champ des incertitudes demeure assez vaste pour que l'homme ait conscience à la fois qu'il est devenu un **agent climatique** et qu'il serait impuissant à contrôler un emballement des changements climatiques déjà en cours.

Au moment où il commence à comprendre les interactions entre les divers mécanismes reliant le climat aux activités humaines, la biosphère au système solaire, il entrevoit aussi que **les rouages démontés de la machine Terre ne livrent pas tous les secrets de son fonctionnement.**

La Terre ressemblerait-elle davantage à l'être vivant décrit par James LOVELOCK dans son livre « *Gaïa* » qu'à un assemblage de rouages, même assortis de microprocesseurs ?

Toujours est-il que l'essentiel des réactions de la Terre ou des enchaînements de ses éléments analysés un à un ne livrent **aucun mode d'emploi** à l'espèce qui s'est pourtant approprié la planète.


L'homme doit même désormais s'interroger sur ce qu'il convient de faire, à l'échelle mondiale, pour la survie de son espèce. Non pour assurer la domination de tel groupe humain sur tel autre, mais pour **s'efforcer de comprendre au plus vite ce que doit être son action dans le vaisseau spatial Terre pour y maintenir la vie.**

III. LES CHERCHEURS NE SONT PAS À MÊME DE TOUT TROUVER TOUT DE SUITE

Les recherches sur l'effet de serre et son intensification ont mobilisé des milliers de chercheurs dans le monde entier depuis plusieurs années. Les progrès accomplis dans la connaissance de ce phénomène ont été importants.

Néanmoins, la démarche la plus courante consiste, après avoir admis le rôle non négligeable des émissions anthropiques dans l'intensification de l'effet de serre, à souhaiter que des scientifiques puissent mettre au point des modèles numériques de modélisation du climat afin de conforter ou d'infirmer les hypothèses émises, pour prévoir le climat des années à venir et pour apporter des réponses certaines à toutes les questions.

Dès que les premiers modèles de simulation du climat ont fourni des hypothèses d'évolution climatique, il a été constaté que **lesdites hypothèses globales conduisaient à souhaiter bientôt disposer de modèles et de certitudes pour son pays, sa région, voire sa ville, ou son exploitation agricole**. Or, c'est là demander aux modèles plus qu'ils ne peuvent fournir. C'est pourquoi, avant de tirer des conclusions des travaux fondés sur les modèles numériques d'évolution climatique, il est important de rappeler qu'en l'état actuel des connaissances, **ces modèles ne font que décrire un climat plus ou moins probable, sans pour autant décrire le climat qui va exister**, d'autant que la manière dont les océans et les nuages sont pris en compte recèle encore de grandes lacunes et ne peut donc permettre de conclusion définitive.

Des critiques en ce sens ont été adressées aux modèles climatiques et d'ailleurs, une partie de ces critiques est émise par les climatologues les plus concernés. C'est ainsi que M. Hervé LE TREUT, de l'Institut Pierre-Simon Laplace, a indiqué à votre Rapporteur, lors d'une audition , que *« même si la planète numérique peut ressembler beaucoup à la planète réelle, pour autant les modèles numériques ne sont pas des outils magiques permettant de déduire le futur du présent. »*

De plus, pour M. Hervé LE TREUT, les modèles de simulation du climat présentent essentiellement **trois types d'imperfections** tenant au **maillage de la sphère**, à la difficulté de saisir **les aspects chimiques et biochimiques** de la réalité, au fait que le climat est **un système chaotique**, pas entièrement prévisible.


Pour lui, *« même si la planète numérique ressemble à la Terre, plusieurs histoires climatiques sont à tout moment possibles, à partir d'une situation donnée »*.

Et M. Hervé LE TREUT a alors recours à une comparaison imagée en indiquant que *« simuler le climat à venir revient à jouer avec un dé pipé »*. Si, par exemple, le 6 revient plus souvent, cela est-il dû au hasard ou au fait que le dé est pipé – ce qui serait, pour l'intensification de l'effet de serre, l'équivalent des activités humaines ?

Pour répondre à cette question dans le cas des modèles de simulation climatique, un énorme recul de temps est nécessaire.

M. Hervé LE TREUT insiste sur le fait que **les modèles constituent des outils experts très étudiés mais seulement pour évaluer un risque et non pour fournir une prévision datée**.

Il regrette surtout que ses travaux soient souvent présentés comme des exercices de prédiction, alors qu'ils ne sont qu'une aide à la description de possibles climats futurs.

Par ailleurs, M. Philippe ROQUEPLO , auteur notamment de « *Climats sous surveillance* »¹ et de « *L'expertise scientifique* »², insiste sur **les limites des modèles** fonctionnant actuellement.

Enfin, la mise en œuvre de modèles suppose de représenter les processus étudiés de manière paramétrée, ce qui conduit à simplifier, parfois à l'excès, beaucoup de phénomènes, notamment l'hydrologie de surface, la microphysique des nuages, l'absence d'homogénéité de la couverture nuageuse. Et pourtant, il est nécessaire de coupler les modèles ainsi obtenus avec des modèles physiques et biologiques présentant eux-mêmes des lacunes identiques.


L'Académie des Sciences a d'ailleurs relevé **la limite essentielle de la paramétrisation : la logique de son élaboration produit un impact invérifiable sur le résultat des modèles.**

Tous les chercheurs s'accordent sur la nécessité de disposer de moyens de calculs toujours plus puissants.

Malgré le développement rapide des techniques de modélisation du système climatique, il convient de se demander si ces outils permettent, en l'état actuel des connaissances et des techniques, d'atteindre véritablement leur but.

Comme déjà signalé plus haut, une critique très argumentée des **limites de la modélisation climatique** opérée a été effectuée par M. Philippe ROQUEPLO dans son livre « *Climat sous surveillance* ».

Il s'y demande notamment (pages 175 et 176), à propos de la modélisation, s'il est possible de ne pas ressentir face à celle-ci « *un certain trouble* » et note, en élargissant le débat : « *Y a-t-il, du point de vue stratégique, **une cohérence** entre les investissements intellectuels effectués dans la modélisation elle-même et ceux effectués sur les conditions « observationnelles » de sa validité ? Y a-t-il **une cohérence** entre les délais nécessaires à une telle entreprise et les délais correspondant au changement climatique lui-même, dont les modèles doivent nous faire connaître l'amplitude et le rythme ? Y a-t-il **une cohérence** entre ces délais et ceux qui, selon le discours même des scientifiques, s'imposent aux décisions des politiques ? »*

L'Académie des Sciences, dans son rapport de 1990 (n° 25) comme dans son rapport de 1994 (n° 31)  s'est intéressée de très près à la question des limites de la modélisation climatique. Elle a conclu que, malgré le développement extrêmement rapide des capacités des ordinateurs, et en dépit

¹ « *Climats sous surveillance – Limites et conditions de l'expertise scientifique* » - Editions Economica – Paris 1993

² « *Entre savoir et décision, l'expertise scientifique* » - INRA Editions – Paris - 1997

de l'amélioration de la qualité des modèles climatiques, **les incertitudes relatives aux paramétrisations contenues dans ces modèles demeurent importantes**. Avant d'en arriver à cette conclusion, l'Académie des Sciences a rappelé que **les limites des modèles tiennent d'abord à la nature du problème posé**. En effet, elle souligne: « *le forçage radiatif résultant de l'effet de serre est un terme faible en valeur relative* » (quelques Watts par m²) dont l'effet potentiellement important provient du fait qu'il sera appliqué au système climatique pendant des durées de quelques décennies, voire de quelques siècles.

L'Académie des Sciences a noté que **les rétroactions sont très nombreuses et qu'elles dépassent les capacités des modèles qui simplifient à l'extrême des phénomènes complexes** ; par exemple, la microphysique des nuages, les modifications de l'albédo de la neige, les phénomènes de condensation, etc...

De plus, l'Académie des Sciences a insisté sur le fait que **ces modèles tendent de plus en plus à intégrer des données économiques, démographiques..., dépassant le cadre strict du climat**. Même si ce dialogue est nécessaire entre les différentes communautés, des malentendus graves risquent de se développer si la qualité des modèles ne fait pas l'objet d'une évaluation rigoureuse et si leur signification n'est pas suffisamment expliquée jusqu'à devenir la même pour tous.


Le perfectionnement des modèles a conduit à coupler, par exemple, les modèles simulant l'atmosphère aux modèles simulant l'océan. Mais, malgré les progrès de leur développement, ces instruments n'arrivent pas à simuler de manière tout à fait exacte le cycle saisonnier, non plus que la variabilité interannuelle. **Parfois, le couplage des modèles conduit à amplifier les défauts de chacun d'entre eux. Enfin, beaucoup de modèles partent de l'idée que l'océan se trouverait en équilibre dans l'état atmosphérique actuel, ce qui n'est pas vraisemblable, la circulation océanique étant un mouvement continu.**

De plus, la mise en œuvre des modèles est destinée un jour ou l'autre à permettre **les études d'impact aux échelles locales et régionales**. Il n'est pas évident que l'extension d'un modèle général à une approche locale, ou bien l'utilisation de modèles à mailles variables soit possible.

Dès lors est apparue **la nécessité de tester et de valider les modèles** pour mener à bien une recherche rigoureuse. Beaucoup de modèles sont testés à partir de l'histoire climatique récente. Ces tests sont facilités par l'abondance de données d'origine satellitaire, tant et si bien que les résultats des modèles tendent à converger, ce qui n'est pas *a priori* satisfaisant et il faut se garder de voir dans l'unanimité de cette convergence un indice de qualité absolue puisqu'il peut aussi y avoir convergence dans l'erreur. De plus, une telle

convergence peut masquer de nombreuses divergences à l'intérieur des modèles.

Au-delà de la période climatique récente et de la fin du siècle dernier, le Petit âge glaciaire et les variations paléoclimatiques servent aussi à apprécier la validité des paramètres retenus dans les modèles actuels.

Un programme international, PMIP, conduit par Mme Sylvie JOUSSAUME , s'est attaché à comparer les modèles tout en simulant le climat d'il y a 6.000 ans et celui du dernier maximum glaciaire.

Comme les travaux des experts du GIEC sont pour l'essentiel fondés sur les modèles de prévisions climatiques, de ce fait ils doivent être assortis des mêmes réserves que celles qui s'appliquent à l'élaboration des modèles eux-mêmes.

Il va de soi qu'au cours des années futures, il sera intéressant d'entrer dans les modèles les données réellement observées pour voir dans quelle mesure, et pourquoi, ceux-ci s'étaient éloignés, ou non, de manière logique, de la situation réelle. Dans le même esprit, les modélisateurs ont toujours cherché à tester sur les climats du passé l'exactitude des enchaînements décrits par leurs modèles.

Mais, aussi élaborés que soient **les modèles**, en supposant que ceux-ci parviennent un jour à retracer la complexité des nuages et celle des océans, ils **demeureront toujours limités par la puissance de calcul des ordinateurs** qui, même si elle a continuellement augmenté, ne peut encore suffire à décrire autrement que schématiquement les données de la réalité et à reproduire la vie des climats.

L'ensemble de ces observations ayant été formulé, il demeure que **les modélisateurs tirent de leurs travaux plusieurs certitudes :**

- **l'action de l'homme est à l'origine du changement climatique actuellement observé ;**
- **le réchauffement ira en s'accéléralant** compte tenu du fait qu'aucun ralentissement ou aucune modification substantielle de l'activité humaine n'est envisagé ;
- **les conséquences de ce réchauffement seront inquiétantes ;**
- **les durées respectives de disparition des gaz à effet de serre émis dans l'atmosphère ne permettront pas à l'homme de corriger les effets de ces gaz alors qu'il n'a pas usé de la faculté d'en maîtriser les causes.**

Malgré l'attente, par les uns ou les autres, de prévisions par région, voire par ville pour l'horizon 2025, 2050 et 2100 en France, votre Rapporteur se doit d'affirmer, au terme de ses investigations que **ni le degré géographique précis souhaité ni les échéances de temps auxquelles surviendront les changements climatiques ne peuvent résulter des actuelles connaissances, recherches ou modélisations sur les changements climatiques.**

Deux modèles, toutefois, ont focalisé leur intérêt sur l'Europe et le bassin méditerranéen. D'une part, le modèle en points de grille du Laboratoire de météorologie dynamique (L.M.D.) avec zoom et le modèle Arpège-Climat du Centre national de recherche météorologique (CNRM) à maille variable.

Ces modèles, comme tous les autres, travaillent notamment sur le scénario standard du doublement de CO₂ entre le début du XX^{ème} siècle et les années 2060.

Ils en déduisent **un réchauffement de 2°C sur l'Europe occidentale**, plus prononcé en été et dans les régions méditerranéennes, ainsi qu'**une augmentation des précipitations hivernales** et une diminution des précipitations estivales, notamment sur les régions méditerranéennes.

Ils relèvent **un contraste pluviométrique nord-sud** (augmentation au nord du 45^{ème} parallèle et diminution au sud).

IV. LES JURISTES NÉGOCIENT DES DATES NON NÉGOCIABLES ET VIDENT DE LEUR PORTÉE LES PRINCIPES GRÂCE À DES CLAUSES ÉCHAPPATOIRES

La convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques de 1992 a créé un organe appelé « la conférence des Parties » pour prendre les décisions nécessaires à l'application de la convention.

De ce fait, l'adoption, lors de la troisième Conférence des Parties, en 1997, du **protocole de Kyoto n'a pas entraîné la création d'un système institutionnel propre**, puisque celui de la convention-cadre est utilisé. Mais la conférence des Parties ne disposant ni d'une réelle capacité de contrôle, ni d'un pouvoir de sanction, **l'application du protocole de Kyoto a d'abord été laissée à la bonne volonté des États.**

Comment dès lors assurer le respect des engagements pris, sachant, de plus, qu'il est difficile d'évaluer les émissions de gaz à effet de serre ?

En principe, les parties doivent transmettre, **chaque année, un inventaire de leurs émissions de gaz à effet de serre** et remettre, à intervalles réguliers, **une communication nationale** décrivant l'ensemble des mesures prises par chaque pays.

Toutefois, l'évaluation porte sur les émissions exprimées en dioxyde de carbone, et non sur celles de chacun des six gaz à effet de serre. Or, il a été exposé plus haut que cette facilité de comptabilisation s'effectue au détriment de la précision scientifique. En effet, **les durées de vie de gaz à effet de serre dans l'atmosphère sont évaluées avec une grande marge d'incertitude et la coexistence de plusieurs gaz dans l'atmosphère, et donc leur interaction, est, de ce fait, gommée.**

A. DES BASES FLUCTUANTES

Pour établir des comparaisons, l'objectif de réduction est apprécié en comparant les quotas des émissions prévues entre 2008 et 2012 et **le niveau des émissions en 1990 ou au cours d'une année ou d'une période de référence historique autre que 1990 pour les pays cités à l'annexe I, c'est-à-dire les pays en transition vers une économie de marché (1),** comme, par exemple, la Fédération de Russie et l'Ukraine (2)...

Il doit donc être souligné que **le choix du niveau de référence est parfaitement arbitraire**, et que, faute d'une évaluation indépendante et commune à l'ensemble des États signataires, à supposer qu'elle soit techniquement possible, les évaluations du respect des engagements pris par les États risquent de demeurer difficiles.

Les négociateurs du protocole avaient bien conscience de ces limites, puisque ce texte insiste, à plusieurs reprises, sur **la nécessité de communiquer des données comparables, transparentes et vérifiables.**

Votre Rapporteur s'inquiète toutefois du fait que le protocole ait pu être signé et ratifié par nombre d'États, dont la France, sans que le préalable sur la solidité des données ait été levé.

Que se passera-t-il en cas de non respect des engagements pris ? Si les émissions ont été inférieures aux quotas attribués, les pays concernés pourront reporter sur les périodes d'engagement ultérieures les droits d'émissions non utilisés mais **aucun mécanisme ne permet de sanctionner un État qui aurait dépassé son quota.** Il n'est pas même prévu d'évaluer si le

(1) *Protocole de Kyoto, article 3, paragraphes 5 et 7.*

(2) *Les pays en transition vers une économie de marché sont : la Bulgarie, la Croatie, l'Estonie, la Fédération de Russie, la Hongrie, la Lettonie, la Lituanie, la Pologne, la République Tchèque, la Roumanie, la Slovaquie, la Slovénie et l'Ukraine.*

dépassement a été précédé, ou non, d'une sous-consommation antérieure. Depuis 1997, les parties négocient toujours pour imaginer des mesures de sanction allant de simples recommandations à l'imposition de pénalités financières. **L'Union européenne a proposé d'établir un système global de contrôle de conformité sous l'autorité d'un observatoire indépendant.**

Quoi qu'il en soit, le protocole de Kyoto doit entrer en vigueur lorsqu'il aura été ratifié par **55 États** au moins, parmi lesquels des pays développés de l'Annexe I représentant au moins **55 % du volume des émissions totales de dioxyde de carbone des États de l'Annexe I.**

Plus de quatre ans après la signature du protocole, le seuil des 55 États est encore loin d'être atteint, tandis que les négociations se poursuivent sur les modalités de fonctionnement des mécanismes de flexibilité et sur l'organisation de dispositifs de contrôle et de sanction. La sixième conférence des Parties tenue à La Haye en novembre 2000 n'a pas permis d'avancer. Au contraire, les États-Unis d'Amérique ont suscité de nouvelles difficultés en posant le problème de l'évaluation des puits de carbone dans leur pays.

Lors de la ratification du protocole de Kyoto par le Sénat français, au mois de mai 2000 (1), **le contraste entre l'importance des enjeux liés à l'intensification de l'effet de serre et la faiblesse des dispositions du protocole** comme l'attitude ambiguë des États-Unis d'Amérique ont été mis en évidence. **Un doute sérieux demeure sur l'application réelle des dispositions de ce protocole.**

B. DES PARTENAIRES INÉGAUX

A l'occasion de la huitième Conférence des parties, tenue en **novembre 2001, à Marrakech**, les règles concernant en particulier l'intégration des puits de carbone dans les objectifs de réduction ont été définies. A cette occasion, **de nouvelles concessions ont été consenties, notamment à la Russie et au Japon.** La Russie a obtenu un doublement de son quota de puits de carbone et le Japon, de son côté, a obtenu la dissociation entre la qualité des inventaires des puits de carbone et l'éligibilité au mécanisme de Kyoto.

Il est patent qu'après la défection des États-Unis d'Amérique, la ratification par le Japon et par la Russie présente un intérêt crucial pour la mise en œuvre du protocole.

(1) *Rapport du sénateur Xavier PINTAT au nom de la Commission des Affaires étrangères de la défense et des forces armées (N° 355, 1999-2000).*

En effet, à partir du moment où l'entrée en vigueur de celui-ci dépend de la ratification par des pays de l'Annexe I, responsables d'au moins 55 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre, il ne s'agit plus véritablement d'un accord international mais d'un compromis chaque jour plus fragile.

Une sorte de partage des rôles est donc intervenu ; il apparaît peu satisfaisant. Les États-Unis d'Amérique préservent leur capacité d'émissions de gaz à effet de serre en laissant reposer sur le reste de la communauté internationale les mesures de réduction que devrait encourager le protocole de Kyoto.

Les pays qui ont fait cause commune avec les États-Unis d'Amérique depuis le début des négociations, à savoir **le Japon, le Canada et l'Australie**, formant à eux quatre le Groupe dit du Parapluie -« *Umbrella* »- n'ont accepté de se dissocier de ceux-ci qu'en échange d'**avantages substantiels dans le protocole**.

La Russie n'avait plus qu'à opérer de même. En obtenant à Marrakech un doublement de son quota de puits de carbone, elle mettra sur le futur marché des permis négociables une quantité accrue d'air chaud que les États-Unis d'Amérique ou leurs plus proches soutiens pourraient ainsi négocier en abondance et au meilleur prix.

Les États-Unis d'Amérique ne garderaient ainsi du protocole de Kyoto que la flexibilité mais sans qu'elle soit l'atténuation accordée en contrepartie d'engagements fermes. Tel était bien leur objectif depuis 1995, voire depuis 1991.

De ces quelques considérations, ne peut naître **qu'un certain scepticisme sur la volonté internationale de diminuer les émissions de gaz à effet de serre**. Même si, peu à peu, se met en place un mécanisme d'un type nouveau, il est à craindre que les organisateurs de ses modalités financières et les spéculateurs y trouvent mieux leur compte que la Planète, dont la préservation aurait dû résulter de la convention-cadre des Nations-Unies sur les changements climatiques adoptée en 1992.

V. LES ÉCONOMISTES CRÉENT UN MARCHÉ DU DROIT À L'ERREUR GARANTISSANT À LA FOIS LE FREINAGE ET LA RELANCE DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Tout d'abord, un rappel : **les conditions initiales de répartition des droits à émission résultent de décisions politiques plus que d'un examen objectif de la situation.**

Cependant, au moment des négociations, **la France avait souhaité l'application de critères objectifs, tels que le niveau d'émissions par habitant. Mais les États-Unis d'Amérique ont refusé de s'engager sur une telle base.**

A. LES PAYS DU « NORD » S'OCTROIENT DES DÉPASSEMENTS NÉGOCIÉS

La Russie et l'Ukraine ont obtenu que leurs émissions de gaz sur la période 2008-2012 soient stabilisées et non pas réduites par rapport à l'année 1990. Or, il est évident que cette année de référence revient à prendre comme donnée de départ l'état de l'économie résultant du modèle soviétique, connu pour être particulièrement dispendieux en énergie. Par la suite, les pays de la Communauté des États Indépendants (CEI) ont connu une forte récession économique, et, de ce fait, peuvent se présenter en vendeurs potentiels d'une quantité importante de permis négociables, ce qui autorisera les pays acheteurs à dépasser leur quota contre rémunération, mais ne réduira en rien l'émission effective de gaz à effet de serre à l'échelle du monde.

Paradoxalement, **les États-Unis d'Amérique pourront, par exemple, continuer à émettre sept fois plus de gaz à effet de serre par habitant que le taux moyen mondial ¹ tout en gageant ce gaspillage d'énergie présent et futur sur les anciens gaspillages de l'économie soviétique.**

Faut-il avaliser un tel système au nom de la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Faut-il accepter que certains pays développés aient même obtenu le droit d'augmenter leurs émissions ?

Il peut être rappelé qu'à la suite de la conférence de Kyoto, **les États-Unis d'Amérique, le Canada, le Japon, l'Australie et la Nouvelle-Zélande avaient tenté de créer, avec la Russie et l'Ukraine, une sorte de bulle de coopération pour tirer tout le profit du mécanisme du protocole.** Même s'ils ne sont pas parvenus alors à un accord interne sur la répartition des objectifs, cette tentative a bien montré les limites du mécanisme mis en place et les véritables finalités de certains partenaires. C'est pourquoi, loin de se lamenter de la récente remise en cause du protocole de Kyoto par le nouveau président des États-Unis d'Amérique, il aurait peut-être été plus constructif de revisiter les bases de cet accord international afin de mieux faire correspondre les objectifs affichés du protocole avec les modalités retenues pour sa mise en œuvre.

¹ En moyenne, un habitant de la Planète émet une tonne d'équivalent carbone par personne et par an, un Français, deux tonnes, un Allemand, trois tonnes et un Américain du Nord, sept tonnes.

B. LES PAYS DU « SUD » REVENDIQUENT UN DROIT À DÉPASSEMENT PERMANENT

L'engagement de Kyoto ne concerne pas l'ensemble des pays du monde. Or, les pays en développement représentent les principaux gisements d'émissions futures de gaz à effet de serre. Si aujourd'hui leur part ne représente que 29 % du total, elle pourrait atteindre 58 % en 2050.

Mais, **les pays du Sud ont refusé de souscrire des engagements chiffrés à Kyoto.** Comment s'étonner que, en réaction, le caractère incomplet de l'engagement mondial ait été avancé par le Président George W. BUSH dès le lendemain de son élection pour remettre en cause le protocole de Kyoto ? D'autant qu'aujourd'hui, les États-Unis d'Amérique sont responsables de près du tiers des émissions de gaz à effet de serre et ont d'ailleurs largement recours au charbon.

Ces deux attitudes, opposées en apparence mais analogues quant au fond, montrent que le principal émetteur passé et actuel, les États-Unis d'Amérique, refuse de s'engager pour le présent comme pour le futur, de même que les principaux émetteurs futurs, la Chine et l'Inde, refusent de s'engager pour l'avenir.

Il apparaît douteux que les seuls permis d'émissions arrivent à réconcilier les uns avec les autres, si ce n'est pour émettre, dès à présent et pour longtemps, encore davantage de gaz à effet de serre.

De plus, aider à l'équipement des pays en voie de développement, y compris par la mise en œuvre de techniques moins émettrices de gaz à effet de serre, revient à accélérer chez ceux-ci un certain type de développement fondé sur des techniques qui ont montré déjà certaines de leurs limites dans les pays développés.

Cela ne saurait être un frein à l'intensification de l'effet de serre mais bien plutôt un accélérateur pour **l'extension d'un modèle économique fortement émetteur de gaz à effet de serre à l'ensemble de la planète dont la population ne cesse de s'accroître.**

D'où le comité *ad hoc* d'observance créé à Marrakech pourra-t-il tirer assez d'autorité pour **surveiller la bonne application du système des permis négociables ?**

En conclusion, l'extension à l'échelle mondiale du système d'échange de permis d'émission introduit dans le protocole de Kyoto à la demande des États-Unis d'Amérique souffre de plusieurs lacunes qu'il serait dangereux d'ignorer ou de minorer.

VI. LA NOTION D'ALTERNANCE ET LE RYTHME DES MANDATS POLITIQUES CONDAMNENT-ILS LES PROJETS À LONG TERME À L'ABSENCE DE SOLUTIONS ?

Tout au long de l'élaboration de la présente étude, votre Rapporteur a souvent relevé chez ses interlocuteurs un léger scepticisme amusé à propos du caractère éloigné de l'horizon de l'étude. S'inquiéter des politiques à mener du fait de l'évolution probable du climat en 2100 releverait-il davantage de l'exercice de style que d'un mandat politique ?

Telle n'est pas l'opinion de votre Rapporteur qui considère avec satisfaction que **l'OPECST se trouve particulièrement dans son rôle en menant une réflexion prospective, même à l'horizon 2100**. De plus, ce terme est exigé par la nature même du sujet de l'étude, l'évolution climatique à cinq ou dix ans ne présentant pas un grand intérêt. En effet, un climat se caractérise par une tendance qui doit être confirmée par au moins une trentaine d'années d'observations et de relevés.

En outre, au terme du présent rapport, il apparaît que **2100 ne marque aucunement le terme d'une éventuelle évolution** mais, au contraire, que toutes les courbes de projection maintiennent une pente ascendante en 2100, certaines études indiquant désormais des chiffres jusqu'en **2300**.

Il a été exposé dans le présent rapport que la durée de vie de certains gaz à effet de serre leur garantissait des effets jusqu'en 2100 et même bien au-delà, pendant plusieurs milliers d'années. Tout infléchissement des politiques énergétiques, industrielles, de transports mettrait donc bien des années à faire sentir ses effets et, ce, probablement d'ailleurs, de manière peu spectaculaire.

De la sorte, comment sera-t-il possible de convaincre quiconque, en 2100, que, sans l'adoption, en 2002, de telle ou telle mesure efficace, les changements climatiques auraient produit des conséquences négatives ? Cela sera impossible à observer à la fin du présent siècle, les dangers redoutés ayant précisément été évités.

Comment, à l'inverse, atténuer le choc psychologique d'un événement extrême survenant en 2100 en précisant que, sans une politique volontariste conduite au début du siècle, dans la lointaine année 2002, l'événement eût été bien pire ?

Et, même si aucune politique mondiale ambitieuse n'était menée en 2002 et que l'opinion publique de 2100 s'en prenne à sa classe politique en cas d'événements climatiques extrêmes, la question ne sera sûrement pas alors de peser les responsabilités respectives des dirigeants au pouvoir en 2002.

Il existe donc bien **une discordance entre les préoccupations à très long terme nécessitant des actions immédiates et les notions même**

d'alternance comme de durée des mandats politiques dans la mesure où les effets des politiques à mener ne peuvent être que très lointains, excédant la durée de tout mandat, et n'auront cependant une existence que si la ligne d'action choisie est suivie durant tout le siècle, quelles que soient les alternances politiques.

En outre, **la plupart des décisions prises bénéficieraient surtout, voire seulement, aux générations futures considérées comme un ensemble mondial.** Il peut donc se faire qu'un État consente des sacrifices immédiats qui profitent, dans cinquante ou cent ans aux habitants d'un pays lointain, voire d'un pays hostile...

Votre Rapporteur l'a déjà rappelé bien des fois, **les impacts des changements climatiques concernent l'avenir du vaisseau spatial Terre et font prendre conscience de la solidarité obligée de tous ses passagers .**

Il dépend de chacun d'entre nous que l'horizon éloigné réintègre le champ des préoccupations politiques des citoyens et de leurs élus.

Peut-être de nouveaux forums sont-ils à imaginer pour cela ?

QUATRIÈME PARTIE : LES SOLUTIONS

Présentation de la quatrième partie par le sénateur Marcel DENEUX □

CHAPITRE PREMIER : LES SOLUTIONS GLOBALES

Economiser l'énergie, améliorer l'efficacité énergétique, limiter le recours aux énergies fossiles et à l'eau, impliquent de sélectionner les techniques agricoles, repenser les transports et d'améliorer l'habitat.

I. ECONOMISER L'ÉNERGIE

Cette préoccupation s'inscrit très directement dans la ligne de la réduction des émissions de gaz à effet de serre ; l'énergie non consommée est celle qui émet le moins de ces gaz.

A. LA DEMANDE D'ÉNERGIE

La demande mondiale d'énergie augmente à un rythme de près de 2 % en moyenne par an depuis le début de l'ère industrielle. Mais ce rythme peut descendre jusqu'à 1 % ou approcher 5 % selon les années.

A l'horizon **2020**, la part du charbon, celle du pétrole et celle du nucléaire pourraient avoir légèrement décru, tandis que celle du gaz naturel et celle des énergies renouvelables augmenteraient.

Prévision de consommation d'énergie primaire dans le monde par source à l'horizon 2020,

selon un scénario de maîtrise de la consommation d'énergie

| | 2000 | | 2010 | | 2020 | |
|---------------|-------|------|--------|------|--------|------|
| | Mtep | % | Mtep | % | Mtep | % |
| Charbon | 2 406 | 26 | 2 756 | 25,2 | 3 024 | 24,0 |
| Pétrole | 3 206 | 34,6 | 3 537 | 32,3 | 3 823 | 30,3 |
| Gaz | 2 118 | 22,9 | 2 849 | 26 | 3 699 | 29,3 |
| Nucléaire* | 628 | 6,8 | 700 | 6,4 | 729 | 5,8 |
| Renouvelables | 909 | 9,8 | 1 113 | 10,2 | 1 340 | 10,6 |
| TOTAL | 9 266 | 100 | 10 955 | 100 | 12 615 | 100 |

* 1 MWh : 0,26 tep

Scénario « Sagesse traditionnelle » (scénario moyen) –

Source : d'après DG XVII (1996) Memento de l'énergie 1999 - CEA

Pour le Conseil mondial de l'énergie, **la demande mondiale d'énergie** devrait être de l'ordre de 11,3 à 17,2 Mtep à l'horizon 2020 contre 9 Mtep en 1990 pour un taux de croissance du PIB mondial moyen de 3,3 % par an.

Une telle progression ne peut que renforcer la prise de conscience de **la nécessité d'une société plus économe en énergie**, ce qui remet en question le schéma implicite de pensée et les ressorts du développement en vigueur.

En France, **la consommation finale d'énergie par habitant** et par an, a atteint 3,7 tonnes équivalent pétrole en 2000, ce qui représente un triplement par rapport à 1960 et une augmentation de 35 % depuis 1973.

L'analyse de cette progression révèle **le doublement sur trente ans des consommations d'énergie dans le secteur résidentiel et tertiaire comme dans les transports** et une stabilisation de la consommation d'énergie par l'industrie.

D'après le GIEC, si aucune mesure n'était adoptée, **la consommation d'énergie de l'industrie pourrait avoir doublé entre 1990 et 2025. De même pour celle des transports**, le parc automobile doublant lui aussi de volume.

Le secteur résidentiel et tertiaire suivrait la même courbe ascendante.


Ces quelques rappels des tendances envisagées par le GIEC suffisent à montrer que **les émissions de gaz à effet de serre ont très largement augmenté au moment même où leur décreue serait impérieuse.**

Même s'il existe des exemples de **déconnexion entre croissance économique et augmentation de la consommation énergétique**, ils sont rares et ne correspondent pas au schéma du début de l'industrialisation d'un pays en voie de développement. Au contraire, les progrès opérés par ceux-ci au cours du présent siècle seront très vraisemblablement exigeants en énergie.

Pour **la France**, si une stabilisation peut être espérée dans **l'industrie** (de 25 % à 30 % des émissions) qui a déjà accompli beaucoup d'efforts de réduction de ses émissions, l'évolution des émissions du **secteur des transports** (22 % des émissions et 35 % des émissions de CO₂), notamment du transport de marchandises par la route, ne semble pas devoir être maîtrisée dans un proche avenir. L'évolution des émissions du **secteur résidentiel-tertiaire** est tout aussi préoccupante.

B. LES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE ET L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Les économies d'énergie et l'efficacité énergétique sont les deux composants d'une même action tendant à obtenir le meilleur résultat pour la société tout en prenant en compte la nécessité de préserver les sources d'énergie non renouvelables.

M. Yves COCHET, dans son rapport au Premier ministre sur **l'efficacité énergétique**  en 2000¹, rappelle que, jusqu'à la révolution industrielle, toutes les sources énergétiques ont été renouvelables. Ensuite, un très large recours aux ressources fossiles et non renouvelables est intervenu pendant un siècle et demi.

Cependant, M. Yves COCHET souligne que le modèle de développement productiviste est fondé sur deux postulats aussi faux l'un que l'autre, à savoir le caractère inépuisable des ressources énergétiques classiques et celui de la neutralité de leur utilisation pour l'environnement.

L'efficacité énergétique tend à réduire les consommations d'énergie, à service rendu égal. Elle constitue une réaction face à la situation mondiale actuelle où « *sur les six milliards d'habitants de la planète, deux milliards environ survivent sur les énergies traditionnelles tout en les mésusant... deux milliards et demi ont accès aux formes commerciales actuelles d'énergie... le milliard et demi d'habitants des pays industrialisés (OCDE et pays de l'Est) monopolisent les ressources mondiales et les utilisent mal : 25 % des habitants de la planète consomment 75 % de l'énergie commerciale* ».

Il relève par ailleurs que le secteur résidentiel-tertiaire figure en tête pour sa consommation d'énergie finale (46 %) contre 28 % pour l'industrie et 25 % pour les transports.

¹ *Le texte intégral de ce rapport figure dans le Cd-rom sur les changements climatiques joint au présent rapport.*

A ce sujet, il peut être rappelé qu' **une directive-cadre** est prévue sur les normes d'efficacité énergétique (exemple : mode veille).

De plus, **un accord avec les industriels européens** est intervenu sur l'efficacité énergétique des appareils de bureautique (logo « Energy star »).

Par ailleurs, un chiffre peu cité mérite d'être rappelé, celui de la **perte d'électricité dans les réseaux électriques** : 5,8 % de la production nationale (30 TWh en 2000).

II. LIMITER LE RECOURS AUX ÉNERGIES FOSSILES ET A L'EAU

Le recours croissant aux énergies fossiles, dont les gisements sont limités et les émissions de gaz à effet de serre élevées, conduit à une impasse.

Les énergies renouvelables, le recours au nucléaire et à un usage raisonné de l'irrigation doivent absolument être considérés comme des points de passage obligés d'une utilisation raisonnée des ressources naturelles.

A. LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Elles apparaissent pour tous les pays et dans tous les scénarios d'évolution comme un élément important de la solution au problème complexe de la recherche simultanée de la croissance économique, du respect de l'environnement, de la sécurité de l'approvisionnement énergétique et de l'acceptation sociale des mutations nécessaires.

Votre Rapporteur se contentera de rappeler les grandes données de la situation énergétique de la France, notamment face aux perspectives offertes par les énergies renouvelables dans la mesure où , dans un récent rapport extrêmement documenté, l'actuel président de l'OPECST, M. Jean-Yves LE DÉAUT et notre collègue Claude BIRRAUX, députés, viennent de traiter cet aspect (1).

Leurs recommandations ont été approuvées par l'OPECST dans sa séance du 14 novembre 2001.

Votre Rapporteur ne peut que se faire l'écho des analyses extrêmement approfondies qui ont été présentées tout en se gardant lui aussi

(1) « L'état actuel et les perspectives techniques des énergies renouvelables », n° 3415 Assemblée nationale, n° 94 Sénat, novembre 2001. Ce soixante-cinquième rapport de l'Office figure dans le Cd-rom « les rapports de l'OPECST de 1985 à 2001 » joint au présent rapport.

de voir dans l'éolien une solution d'envergure pour un futur proche et surtout en rappelant que, pour la France, **l'énergie nucléaire demeure un atout** qu'aucune évolution ne permet de négliger, bien au contraire.

B. L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

La part essentielle de l'énergie nucléaire dans l'approvisionnement de la France en électricité rappelle que cette source d'énergie contribue grandement à **la sécurité de l'approvisionnement énergétique**.

Les engagements résultant du protocole de Kyoto conduisent la France à renouveler ses centrales nucléaires. Une inquiétude demeure compte tenu des choix d'autres pays européens qui ne pourront concilier le respect des engagements de Kyoto et leur abandon de la filière nucléaire.

C. L'IRRIGATION

Ressource naturelle abondante en France jusqu'à présent, l'eau devrait être utilisée à meilleur escient à l'avenir. **Les prévisions relatives aux impacts des changements climatiques font craindre des ressources en eau raréfiées en été, même en France.** Or, l'irrigation agricole puise largement dans ces ressources, parfois sans obligation réelle.

En 1970, 5400 km² étaient irrigués en France ; en 1997, plus de 20.000 km² le sont, soit environ 7 % de la surface agricole utile. Il s'agit donc d' **une augmentation de 270 % en 27 ans.**

En outre, depuis 1997, la progression de la surface irriguée s'accélère.

Près de 10 % de la surface agricole utile sont aujourd'hui équipés pour l'irrigation.

Celle-ci répond-elle toujours à des besoins impérieux ?

L'évolution de l'accroissement des surfaces irriguées ne devrait-elle pas être considérée comme une tendance d'une époque révolue ?

III. SÉLECTIONNER LES TECHNIQUES AGRICOLES

Comme signalé ci-dessus, avant même de s'interroger sur les techniques émettant moins de gaz à effet de serre, il faudrait désormais **toujours se demander quelle quantité d'eau est nécessaire à la protection d'un kilo de matière sèche afin de ne pas abuser de l'irrigation.**

A. AGRICULTURE

Comment réduire les émissions de gaz à effet de serre par l'agriculture ? En réduisant les émissions de protoxyde d'azote (N_2O) comme de méthane (CH_4) au moyen d'instruments diversifiés.

1. la réduction des émissions de protoxyde d'azote (N_2O)

Pour réduire les émissions de protoxyde d'azote, des solutions peuvent exister au niveau des pratiques agronomiques comme à celui de l'aménagement de l'espace.

C'est ainsi que la suppression des apports d'azote en excès à travers les fertilisants apparaît un préalable à la réduction des émissions, le but étant de maintenir aussi bas que possible le niveau d'azote minérale du sol ou en fractionnant les apports soit en les ajustant plus strictement aux besoins des plantes. En outre, le maintien de la porosité du sol à un niveau élevé et en réduisant les périodes d'excès d'eau sont essentiels.

De plus, il serait souhaitable que **les sols** présentant les caractéristiques les plus favorables aux émissions, par exemple des sols facilement engorgés et n'ayant qu'une faible activité réductrice de N_2O soient retirés en priorité d'un usage agricole.

En outre, il faudrait **éviter de créer artificiellement des zones fortement émettrices de N_2O** . Ainsi, la création de bandes enherbées tendant à régulariser les échanges entre le territoire agricole et les cours d'eau et destinée notamment à favoriser la dénitrification pour améliorer la qualité des cours d'eau risque aussi de multiplier les lieux favorables aux émissions de N_2O .

2. La régulation des émissions d'origine agricole

La sélection des techniques agricoles peut être facilitée par des réflexions économiques sur la régulation des émissions de méthane et de

protoxyde d'azote afin d'**intégrer le secteur agricole dans une politique d'incitation à la réduction des émissions**.

Si l'on se souvient que **les émissions de méthane et de protoxyde d'azote représentent respectivement deux tiers et un tiers du bilan brut des émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole**, il peut être observé qu'à l'occasion de la réforme de la politique agricole commune en 1992 la transformation des grandes cultures et des prairies en surfaces de jachère avait eu deux effets contraires, à savoir la baisse du stockage du carbone par les sols tandis que, parallèlement, la baisse des apports d'engrais azotés avait diminué les émissions de N₂O.

Au total, l'effet environnemental de la réforme de la politique agricole commune s'était révélé légèrement négatif, ce qui illustre bien la difficulté de prendre des mesures tenant compte de tous les paramètres.

Pour l'avenir, en supposant que l'information des agriculteurs soit parfaite, et que le marché fonctionne bien, il a été estimé que **l'adoption d'une taxe destinée à limiter les émissions de gaz à effet de serre** pourrait modifier le comportement des agents économiques dès le seuil de 450 francs par tonne de carbone. Certains ont évoqué un mécanisme prenant la forme d'une taxe sur les engrais ou de primes proportionnelles aux surfaces et différenciées par activité végétale.

Une amélioration du bilan environnemental pourrait être également obtenue en diminuant faiblement les effectifs des **animaux** et en modifiant leur mode d'alimentation ; une alimentation concentrée achetée se substituant aux aliments grossiers et à l'intraconsommation.

Toutefois, **la mise en œuvre d'une telle politique pose le problème du contrôle du niveau des émissions**. Compte tenu de l'imperfection probable de l'information et des difficultés du contrôle, une taxe sur l'aliment des bétails risquerait d'encourager l'intraconsommation qu'il semble souhaitable d'éviter par ailleurs.

Par ailleurs, les jachères pourraient être transformées en forêts.

L'autorisation d'**exploiter les productions ligneuses permettrait de réduire l'effet de serre d'origine agricole d'environ 8 %**, soit bien plus que l'effet des taxes sur l'animal ou sur l'aliment.

C'est donc sur les réductions résultant de ces productions ligneuses que l'effet maximal devrait être obtenu.

Toutefois le potentiel de réduction des émissions par les productions ligneuses, c'est-à-dire **la reconnaissance du rôle régulateur de l'effet de serre par les puits de carbone tels que le bois, en particulier en Europe et en France, aurait dû figurer sans ambiguïté dans les accords**

internationaux portant sur la réduction des pollutions globales, ce qui n'a pas été le cas jusqu'à la Conférence de Bonn tenue en juillet 2001.

Il semble qu'**un recours plus grand au dialogue entre les disciplines** soit là encore la piste à suivre pour que les travaux de modélisation effectués dans les domaines technique et biologique puissent être complétés par des travaux de modélisation en économie, le tout intervenant dans un contexte juridique approprié.


IV. REPENSER LES TRANSPORTS

A l'horizon **2020**, la perspective de croissance de la circulation routière totale en France (urbaine et interurbaine) devrait atteindre 50 % à 60 %. Ce seul chiffre laisse craindre que **les engagements de la France relatifs à la limitation de ses émissions de gaz à effet de serre ne pourront pas être tenus simplement en comptant sur les progrès technologiques liés à la diminution des consommations unitaires de carburant des véhicules.**

Il a déjà été souligné dans ce rapport que le secteur des transports est probablement celui qui pose le plus de problème quant à l'accroissement des émissions de gaz à effet de serre.

Non seulement ces émissions augmentent rapidement, mais elles sont pour moitié dues aux voitures particulières.

Pour l'ensemble des décisions relatives aux transports et aux combinaisons des divers modes de transports entre eux afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre, **les décideurs locaux ont un rôle primordial à remplir.**

C'est pourquoi, dès 1999, la mission interministérielle de l'effet de serre (MIES) a publié un document intitulé « *Maîtriser le risque de changement climatique, Memento des décideurs. Les collectivités territoriales engagées dans la lutte contre les gaz à effet de serre* » . Ce document présente de manière très claire des fiches récapitulatives et pratiques destinées à favoriser la décision publique innovante.

A. L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Concernant les transports, la réduction des émissions de dioxyde de carbone ne peut pas seulement résulter de l'offre, mais aussi d'une maîtrise de la croissance des besoins de transports.

Il a souvent été indiqué que **des villes plus denses, plus compactes, des trajets quotidiens plus courts et aussi moins nombreux**, constitueraient des solutions très efficaces.

En effet, plus la densité urbaine augmente, plus le taux de motorisation baisse et le doublement de la densité devrait, semble-t-il, pouvoir diminuer de 50 % la consommation d'énergie.

B. LES SCHÉMAS DE DÉPLACEMENT

L'idée des schémas de déplacement a pour but de rationaliser une partie de ceux-ci à condition que tous les acteurs se mobilisent, à commencer par les collectivités locales qui ont pour mission de développer **les plans de déplacements urbains PDU**.

Ces plans tendent à une utilisation plus rationnelle de la voiture, à un développement de modes de transports moins polluants et moins consommateurs d'énergie.

Ils supposent **une étroite concertation entre les services des villes et tous les acteurs socio-économiques**.

Complétés par la loi sur l'air qui a rendu obligatoire la réalisation d'un PDU dans toutes les agglomérations de plus de 100.000 habitants, **ces outils tardent à se mettre en place** et ne semblent pas susciter un intérêt à la hauteur des enjeux.

Les schémas de service et les plans de déplacement urbains (PDU), renforcés par la loi du 13 décembre 2000 relative à la solidarité et au renouvellement urbain (SRU), ont insisté sur **la priorité à donner aux transports collectifs** (dont les tramways, les projets tram-trains...), sur la réduction de l'usage de l'automobile en ville, sur le recours au vélo, à la marche, sur le partage de la voirie entre les divers modes de déplacement, sur l'élaboration de plans de mobilité par les entreprises, sur l'obligation de compatibilité entre l'urbanisme et les plans de déplacement.

Une mission interministérielle a été mise en place en 1998 pour promouvoir l'utilisation du vélo.

Pour être efficaces, ces plans de déplacements doivent présenter **des alternatives à la voiture individuelle** : transports collectifs urbains, rapides, sûrs, efficaces ; recours aux deux-roues non motorisés en améliorant la sécurité au long de leur trajet et en empêchant le vol de ceux-ci grâce à des parkings gardés ; marche à pied dans la mesure où les décisions d'urbanisme et d'aménagement favorisent les zones piétonnières dans les centres villes et des rues à circulation automobile réduite.

Enfin, **les complémentarités entre modes de transport** pourraient être développées ainsi que la recherche de nouvelles pratiques de déplacement, y compris dans les zones peu denses (taxis collectifs, minibus, covoiturage, etc...).

C. LA ROUTE

En vingt ans, de 1970 à 1992, le nombre de kilomètres parcourus chaque année par habitant a augmenté de 68 %, dont + 81 % pour la voiture particulière (+ 37 % pour le train, + 44 % pour les autobus).

Par ailleurs, **un triplement de la congestion automobile est prévu d'ici 2020.**

Les déplacements inter-banlieues en région parisienne devraient concerner 20,8 millions de personnes par jour en 2015 contre 14,4 millions en 1999, 70 % de ces déplacements étant assurés par la voiture.

Quant aux véhicules du futur, votre Rapporteur se contentera de renvoyer au rapport de M. Pierre LAFFITTE, sénateur, fait au nom de l'OPECST sur **le véhicule électrique** (1), qui évoquait déjà nombre de points que la rareté de l'énergie rend toujours intéressants. Actuellement, c'est plutôt **le véhicule hybride** que la voiture électrique qui apparaît comme la solution de l'avenir.

D. LE RAIL

Qu'il s'agisse du transport de marchandises ou du transport de voyageurs, **le rail mériterait de retenir davantage l'attention des décideurs lors de l'allocation des crédits d'investissements. De fait, la route lui est souvent préférée.**


En effet, **les transports routiers de marchandises** ont tendance à toujours s'imposer face aux transports ferroviaires, alors qu'un camion de 3 tonnes de charge utile transporte 17 tonnes de marchandises sur un kilomètre avec un kilo de carburant, et que, sur la même distance et avec la même quantité d'énergie, un train peut transporter 130 tonnes. Il y a là une raison de privilégier les transports ferroviaires.

(1) Rapport sur l'« Intérêt du véhicule électrique au regard de la protection de l'environnement » - Assemblée nationale n°680 (10^{ème} législature), Sénat n° 70 (1993-1994).

Il en est de même pour **les transports de voyageurs**, qui sont effectués majoritairement par les voitures particulières devant les trains express régionaux puis les autocars.

Il semblerait que **des connexions nouvelles** puissent être prometteuses comme, par exemple, celles entre tramways et trains qui permettent d'accéder à des zones antérieurement inaccessibles sans changer de mode de transport.

E. LE FLUVIAL ET LE MARITIME

Comme votre Rapporteur l'a déjà indiqué à l'occasion de l'évocation de l'audition de M. François BORDRY, président de Voies Navigables de France , la France devrait tirer profit de son réseau de fleuves et de canaux bien alimentés en eau, ainsi que de ses façades maritimes pour développer enfin **une nouvelle politique de transport fluvial et de développement de ses ports**.

Il doit être noté aussi que **le cabotage** offre des perspectives parfois immédiatement fermées par des initiatives intempestives. C'est ainsi que le cabotage entre Bilbao et le Royaume-Uni a été presque totalement interrompu du fait de la gratuité de l'autoroute créée pour contourner Bayonne. En effet, la gratuité de ce tronçon routier réclamée par les riverains a bénéficié en fait aux très nombreuses entreprises espagnoles de transport routier qui traversent toute la France pour relier l'Espagne au Royaume-Uni, le coût étant devenu inférieur à celui du trajet maritime.

F. L'AÉRIEN

Il a déjà été indiqué que la croissance du transport aérien était une source importante d'émission de gaz à effet de serre et que cette croissance n'était pas aussi inéluctable que la société semble le croire.

Cela a déjà été démontré à travers l'amélioration de certaines **lignes ferroviaires à grande vitesse** où le train a fini par supplanter l'avion. Tel fut le cas, entre Paris et Bruxelles, et, maintenant, entre Paris et Marseille.

De meilleures conditions d'**intermodalité** peuvent rendre le train beaucoup plus attractif pour de petits trajets, les gares étant généralement d'un accès plus aisé que les aéroports.

De plus, mis à part le problème de la pollution lors de la mise en route des locomotives diesel, le train provoque moins de nuisance pour les riverains que les avions.

Dans une réflexion incluant une moindre émission de gaz à effet de serre à l'horizon 2100, de vraies interrogations doivent être émises sur l'utilité d' **un troisième aéroport** aux environs de Paris.

V. AMÉLIORER L'HABITAT

La diminution des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur de l'habitat peut passer aussi bien par un meilleur aménagement du territoire, de nouveaux choix d'urbanisme, de nouvelles méthodes d'implantation, de conception ou de construction des villes ou des bâtiments, que par des procédés de chauffage ou de climatisation innovants.

A. AMÉNAGER LE TERRITOIRE

Le choix des implantations des lieux d'habitat, concentré ou dispersé, a en lui-même une influence sur les émissions de gaz à effet de serre qui sont étroitement liées à celles des transports dans la mesure où l'allongement des trajets domicile-lieu de travail a tendance à entraîner des émissions accrues.

Pour résoudre les deux problèmes à la fois, il a été souvent proposé de **rapprocher les lieux de travail des lieux d'habitat**. Cette solution toute théorique se heurte cependant à deux écueils principaux : d'une part, la société actuelle n'est pas précisément garante d'une stabilité de l'emploi et encore moins de l'unicité du lieu travail au cours d'une vie professionnelle. Bien au contraire, à partir du moment où la mobilité dans les carrières devient la règle, il est extrêmement difficile d'opérer des choix tendant à implanter à proximité l'un de l'autre le lieu de travail et le lieu d'habitat.

De plus, dans une même famille, chaque membre a le plus souvent un lieu de travail qui lui est propre.


Pourquoi, dès lors proposer le rapprochement des lieux de travail et d'habitat alors que les choix d'implantation des équipements que cette solution suppose ne seraient pas opérationnels avant plusieurs décennies ? Et que cette rationalisation apparente ne peut qu'impliquer des interventions très dirigistes des instances sociales ? N'est-ce pas reporter, volontairement ou non, mais en le posant mal, le problème d'une action sur les émissions de gaz à effet de serre, en se déchargeant sur les générations futures ?

Cette remarque se trouve d'ailleurs renforcée par le fait que depuis la fin de la seconde guerre mondiale, les politiques d'aménagement du territoire, comme de planification n'ont cessé de perdre de leur vigueur.

En réalité, les réalisations spectaculaires comme les grands aménagements, en particulier les réseaux autoroutiers ont beau favoriser les émissions de gaz à effet de serre, ils sont très appréciés des populations.

Dans ce contexte, plutôt que de sédentariser à proximité des lieux de travail les utilisateurs de ceux-ci, ne faudrait-il pas rechercher des solutions en direction du télétravail et, en général, du développement de toutes les formes de communication ? Cela reviendrait à **déplacer le travail sans modifier les lieux d'implantation du cœur de celui-ci** tandis que le système nerveux des communications favoriserait l'acheminement des informations provenant des cerveaux travaillant à domicile.

Une telle perspective n'est plus du domaine de l'utopie et des études sur ces thèmes commencent à intéresser de grands ministères.

C'est ainsi que le ministère chargé de l'Industrie a entamé une réflexion sur le télétravail  ⁽¹⁾ dont les premières orientations confirment que le sujet mérite d'être approfondi.

B. IMPLANTER LES VILLES ET LES BÂTIMENTS

Face aux retombées éventuelles d'un changement climatique et à la multiplication des événements extrêmes qui risquent d'en découler, le choix de l'implantation des villes comme des constructions au sein de celles-ci pourrait être amélioré.

En effet, il a déjà été indiqué que la plupart des **villes du tiers-monde** qui ont connu une vigoureuse expansion au cours des dernières décennies, ont souvent été implantées à proximité des rivages et sur des terrains que la montée des eaux et la multiplication des précipitations rend facilement érosives. Tel est le cas en particulier selon le rapport du GIEC, des villes africaines situées sur la côte ouest de ce continent.

En ce qui concerne **les constructions individuelles**, la première précaution souvent omise, y compris dans les pays développés dotés de plans d'occupation des sols et de données météorologiques permettant d'agir en connaissance de cause, consisterait à respecter les conclusions tirées de l'analyse des données disponibles.

En somme, il conviendrait, par exemple, de **strictement respecter les dispositions indiquant des zones inondables ou encore des couloirs d'avalanches**. Il n'est en effet pas rare de voir implanter d'importantes zones

⁽¹⁾ « Télétravail et développement durable ». Ce document de travail, extrait d'une étude confiée par le Ministère des finances à un consultant, figure sur le Cd-rom relatif aux changements climatiques, joint au présent rapport.

industrielles dans des zones inondables à l'entrée des villes. Cela peut aussi être observé pour des équipements publics comme, par exemple, des salles de spectacle, alors qu'il est indispensable d'intégrer, au moment de l'octroi des permis de construire, la nécessité de pouvoir accéder à ces équipements pour y acheminer des secours, notamment lors de circonstances climatiques extrêmes.

C. CONCEVOIR LES CONSTRUCTIONS

C'est dès le stade de la conception que l'habitat devrait être pensé pour émettre le minimum de gaz à effet de serre, donc être le plus économe en énergie. A cette fin, de nombreux programmes, souvent assortis d'incitations fiscales, ont été mis en œuvre ou proposés dans les pays développés. A partir du moment où, désormais, la préoccupation d'émettre moins de gaz à effet de serre est apparue, cela doit **influer sur les lignes directrices dès la conception.**

Par exemple, pourquoi ne pas concevoir des bâtiments comprenant **une isolation thermique extérieure**, ce qui permettrait d'éviter des interventions ultérieures, plus coûteuses et moins efficaces, à l'intérieur de ceux-ci.

En effet, isoler à l'extérieur permet d'éviter que les murs eux-mêmes n'emmagasinent la chaleur ou le froid obligeant par la suite le chauffage ou la climatisation à pallier à grand peine le défaut de conception initial.

À la suite de la **loi sur l'air** de décembre 1996, certaines constructions devront comporter **une quantité minimale de matériaux en bois.**

La « Charte bois – construction – environnement » signée entre le Gouvernement et les professionnels tend à augmenter de 25 % d'ici à 2010 le bois utilisé dans la construction.

Ces mesures devraient permettre d'exploiter au maximum les avantages du bois en vue d'une moindre émission de gaz à effet de serre (consommation d'énergie plus faible qu'avec les autres modes de construction ; stockage de carbone pour une longue durée dans le bois-matériau ; nouveaux débouchés et donc meilleure exploitation de la forêt française).

D. CHAUFFER LES HABITATS

Diverses études ont été menées, notamment par l'ADEME, mais aussi par l'INESTENE (1), sur les différents procédés de chauffage et il est apparu que beaucoup d'améliorations pouvaient résulter de nouvelles conceptions énergétiques.

Surtout, ces études montrent qu'il peut être recouru à **des solutions diversifiées** et à **des sources d'énergie complémentaires** dans chaque immeuble. Ainsi, une source peut assurer le chauffage de base de la structure en cause tandis qu'une autre source, mieux modulable, sert seulement à apporter la température d'appoint aux locaux considérés.

Outre les économies d'énergie qu'elle entraîne, cette méthode permet à chacun d'obtenir une température correspondant exactement à ses aspirations.

E. CLIMATISER LES LOCAUX

Autant la température atteinte à l'intérieur des locaux en hiver apparaît généralement excessive, autant la réfrigération desdits locaux semble souvent surdimensionnée en été. C'est ainsi qu'en hiver, nombre d'appartements ou de bureaux sont chauffés jusqu'à 20 ° ou 22 ° alors qu'en été la climatisation s'efforce de faire redescendre leur température à 18 ° environ.

Dans les deux cas, le contraste avec la température extérieure est maximal. Ce résultat n'est évidemment pas dicté par les besoins, mais résulte d'habitudes contractées au fil des ans qui ne donnent plus lieu à une véritable réflexion et il faudrait peut-être éduquer ou rééduquer à **la perception des besoins réels** pour que chacun redevienne maître de la température qu'il souhaite réellement obtenir tout en mesurant le coût global de celle-ci, qu'il s'agisse du coût pour le consommateur individuel ou pour la société.

Dans les études relatives aux **relations entre santé et climat**, il a été relevé que la climatisation pouvait contribuer de manière importante à préserver des vies humaines lors de grandes vagues de chaleur, mais, bien évidemment, cela ne saurait justifier l'extension de la climatisation à toutes les latitudes, ni son emploi à longueur d'année dans tous les types de locaux.

A la suite du premier choc pétrolier de 1973, de **nouvelles réglementations d'isolation thermique** pour les bâtiments neufs ont été adoptées dès 1974.

(1) « *Le chauffage au bois* » - étude de l'INESTENE

Elles ont permis **la réduction de moitié de la consommation moyenne de l'énergie consacrée au chauffage des logements neufs** par rapport à ceux construits avant 1975.

Cette réglementation a été réactualisée en 1988.

Une nouvelle réglementation thermique a été publiée le 30 novembre **2000** pour entrer en vigueur le 1^{er} juin 2001.

Elle exige une amélioration de 15 % **des performances énergétiques** pour les bâtiments résidentiels et de 40 % pour les bâtiments non résidentiels. En réalité, ces exigences sont déjà satisfaites à hauteur de 10 % pour le résidentiel et de 15 % à 25 % pour le non résidentiel.

En outre, cette réglementation vise aussi la climatisation à travers **l'édiction d'une température d'été maximale à ne pas dépasser** grâce à une meilleure conception initiale des bâtiments non climatisés et des mesures à prendre pour réduire les consommations énergétiques des bâtiments climatisés.

De plus, cette réglementation introduit, pour la première fois, la notion de niveau réglementaire maximal incompensable pour **les ponts thermiques** – les éléments de la construction laissant passer à l'excès la chaleur ou le froid (fenêtres, vitrages...) et propose des solutions techniques permettant aux artisans et aux particuliers de réaliser de telles économies sans avoir à effectuer des calculs complexes.

Il est prévu que cette réglementation évolue tous les cinq ans au moyen d'un renforcement de 10 % de ses exigences à chaque étape. Elle s'accompagne de l'élimination des équipements aux performances insuffisantes (certains radiateurs électriques, fenêtres métalliques sans système thermique, chaudières à gaz à veilleuse...).

CHAPITRE SECOND : LES ENJEUX DES SOLUTIONS

Les enjeux des solutions proposées peuvent être appréciés de trois manières. D'abord en évoquant les échéances de la présente étude. Que sera-t-il possible de faire et, face à quelles difficultés, en 2025, 2050 et 2100 ? Comment y parvenir ? Qui bénéficiera ou pâtira de ces actions ?

I. QUAND ?

Il a été fixé à la présente étude **trois échéances de temps 2025, 2050 et 2100** pour examiner les impacts des changements climatiques sur la géographie de la France.

De prime abord, ces échéances lointaines paraissent exclure toute possibilité de pronostic à leur égard, notamment compte tenu des nombreuses incertitudes liées aux connaissances climatiques.

Cependant, le rythme relativement lent des évolutions du climat, la durée de résidence importante de la plupart des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, ainsi que l'inertie des choix opérés pour mener les principales politiques des différents États rendent les échéances retenues moins lointaines qu'elles ne paraissent et aucunement futuristes.

De plus, en matière de climat, trois dates ponctuelles ne peuvent avoir en elle-même une grande signification dans la mesure où une période climatique se caractérise à partir de données collectées sur une durée d'une trentaine d'années environ.

En conséquence, votre Rapporteur s'est interrogé, à travers les dates de 2025, 2050 et 2100, sur ce qui pourrait différencier la période 2010-2040, des périodes 2040-2070 ou 2070-2100.

A. 2025 OU L'AVENIR PROGRAMMÉ

La plupart des choix déjà opérés jusqu'à aujourd'hui feront mécaniquement sentir leurs effets en 2025 et, déjà, la plupart des politiques sont difficiles à infléchir pour en modifier les impacts à cette échéance

relativement rapprochée, qu'il s'agisse des choix énergétiques, de l'implantation des grandes infrastructures ou encore de l'urbanisme.

De plus, si les observations futures du changement climatique confirment les tendances actuelles, 2025 peut marquer le début de la perception par chacun dudit changement.

Aujourd'hui, les experts s'interrogent sur l'existence, la nature et l'ampleur des **signaux climatiques** attestant sans conteste un changement. En 2025, ces signaux auront vraisemblablement été identifiés.

Pour autant, **certains de ces effets seront peut-être irréversibles ou difficilement réversibles**. Et, si rien n'a été changé, par exemple dans les politiques énergétiques de transport ou d'habitat à la surface de la planète, 2025 risque de ne pas marquer la rencontre entre une action efficace et la prise de conscience des changements intervenus, mais, au contraire, d'être la date d'un tardif constat de carence. Il restera à déplorer qu'une action n'ait pas été entamée bien des années plus tôt alors que l'alerte avait été donnée.

Mais avant cela, il faut rappeler les choix que devraient illustrer pour la France :

- la décision de renouveler, ou non, la plupart des **centrales nucléaires** ;
- l'objectif de 4 GW de **cogénération** ;
- l'objectif du remplacement de la totalité des canalisations poreuses du **réseau de distribution de gaz** – 0,64 Mte CO₂ évité par rapport à 1990 ;
- l'objectif du remplacement de la totalité des centrales thermiques charbon et fuel lourd par **des centrales gaz naturel et cogénération**, d'où des émissions de 14,7 Mte CO₂ au lieu de 27 Mte CO₂/an ;
- le projet de directive européenne sur **le développement de l'électricité et des énergies renouvelables** – 22 % en Europe en 2010 (la France devant se situer au-dessus de 20 % contre 15 % actuels) ;
- l'objectif de 5.000 MW **éoliens** installés ;
- l'augmentation de 25 % du **bois** utilisé dans la construction ;
- l'objectif du doublement du **fret ferroviaire** ;
- l'objectif d'un **bilan net du secteur forestier** égal à 0.

B. 2050 OU LE CARREFOUR DES CHOIX

Si, à la suite de la prise de conscience en train de se généraliser en 2001, les principales dispositions du protocole de Kyoto étaient suivies d'effet et surtout prolongées par d'autres accords internationaux allant au-delà de la période 2008-2012, 2050 serait peut-être au cœur de la période où commenceront à être enregistrés les premiers effets bénéfiques des actions engagées au début des années 2000 pour limiter les émissions de gaz à effet de serre.

Certes, un décalage d'une cinquantaine d'années entre une décision et ses effets peut sembler bien long, cependant, une période de cinquante ans, cela est relativement bref quant à la prise de grandes décisions politiques relatives aux infrastructures et surtout à la durée de réalisation de certaines d'entre elles ou encore face à la réorientation de choix énergétiques.

Pour s'en tenir à quelques exemples, il est souvent préconisé la substitution du fret ferroviaire aux transports routiers, mais cela suppose, en France et dans l'Europe entière, la création d'**un réseau ferré dédié aux transports de marchandises** et, avec l'édification de celui-ci, la mise en place de réseaux de contournement des grandes villes.

Autre exemple, la réalisation d'**un tunnel ferroviaire permettant la liaison directe Lyon-Turin** est une réalisation de longue haleine et, en 2050, il est probable que cette installation dont le principe vient d'être décidé n'aura encore que peu d'années de fonctionnement à son actif.

Enfin, où en seront les travaux du **canal Seine-Nord** ? Sa mise en eau aura-t-elle déjà été effectuée ?

C. 2100 OU L'IRRÉMÉDIABLE

Pour cette échéance, il est permis de souhaiter que les fruits des actions à long terme lancées au début du XXI^{ème} siècle, soient perceptibles. Dans le cas contraire d'importantes difficultés n'auront sans doute pas manqué d'apparaître et, surtout, un siècle de retard aura été pris dans la réaction aux excès d'émissions de gaz à effet de serre.

Cette échéance de la fin du siècle, difficilement imaginable, rappelle que le temps de résidence dans l'atmosphère du dioxyde de carbone est estimé à environ 120 ans. Ce qui signifie qu'**une molécule de carbone émise dans l'atmosphère aujourd'hui s'y trouvera encore en 2100**, tandis que d'autres molécules de gaz à effet de serre encore plus tenaces ne feront alors qu'y entamer un séjour de plusieurs millions d'années.

Les immenses quantités de dioxyde de carbone émises à compter d'aujourd'hui et jusqu'en 2100, tout au long du XXI^{ème} siècle, ne commenceront à disparaître qu'à partir de 2200 environ et cela en supposant que le volume total du dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère n'ait pas excédé les capacités d'absorption des puits de carbone que sont les océans et les forêts.

En effet, il n'est pas exclu que se manifeste **des effets de seuil** et qu'à un moment donné, les puits de carbone cessent de jouer, en tout ou partie, le rôle efficace qu'ils ont assumé jusqu'à présent.

Ainsi, même si le terme ultime envisagé par la présente étude est 2100, nombre d'aspects obligent à se projeter encore au-delà et il a pu être constaté ci-dessus comme dans d'autres parties de ce rapport que des projections allant de 2000 à 2100 dessinent presque toujours des courbes qui ne s'infléchissent nullement à l'approche de 2100. Bien au contraire, la pente de ces courbes à cette période est souvent tout à fait ascendante. C'est pourquoi, **dans nombre d'études, des courbes se multiplient mentionnant l'année 2200, voire l'année 2300.**

II. COMMENT ?

Comment parvenir à imaginer et à mettre en œuvre des solutions à l'échelle des problèmes posés par les changements climatiques ?

Pour que la plupart des solutions puissent être mises en œuvre à un échelon significatif, c'est-à-dire propre à limiter durablement les émissions mondiales de gaz à effet de serre, **les politiques nationales doivent être coordonnées.** L'exemple de la fiscalité, des transports, des grandes infrastructures, de la politique agricole etc. illustrent cela, en particulier pour l'Europe.

A. SOLUTIONS PARTIELLES ET RECOURS AU NUCLÉAIRE

Notre Rapporteur tient à insister sur les recommandations énoncées en fin de rapport consistant à réaliser des économies d'énergie, prôner l'efficacité énergétique, développer les énergies renouvelables. Cependant, même si toutes ces politiques étaient mises en œuvre, le changement du rythme de progression de la consommation d'énergie dépend de choix de sociétés de grande ampleur.

Dans ce contexte, **la France ne saurait ni renoncer à l'énergie nucléaire** pour produire son électricité, car cela la conduirait à émettre bien davantage de gaz à effet de serre, **ni compter sur le développement du nucléaire pour faire face à la demande croissante d'énergie.**

Cette situation particulière de la France doit être expliquée aux citoyens comme à nos partenaires étrangers et prise en compte avec toutes les conséquences qu'elle implique.

Certes, le recours à l'énergie nucléaire doit être combiné avec toutes les autres ressources énergétiques.

B. DÉVELOPPEMENT DURABLE

Au-delà des améliorations apportées aux modes de production, aux transports et au secteur résidentiel-tertiaire pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, seule une orientation résolue vers le développement durable pourrait constituer un cadre cohérent pour une telle réduction à long terme et à l'échelle mondiale.

Il s'agit là d'une réorientation majeure.

- Cela pourrait passer par de **nouveaux lieux de réflexion** :
 - sur **l'agriculture en Europe** et sur le pourtour de la Méditerranée ;
 - sur **la chaîne technologique de l'énergie nucléaire** (réflexion et campagnes d'information) ;
 - sur **les changements climatiques** avec des lieux de dialogue contradictoires interculturels ;
- **De nouveaux moyens de connaissance** pour appréhender la réalité apparaissent indispensables, et parmi ceux-ci :
 - des indicateurs de performances pour **l'environnement** ;
 - un réseau d'**observatoires pour la biodiversité** et l'élaboration d'**un inventaire** des richesses des territoires en biodiversité ;
 - des **indicateurs de bien être à long terme** prenant en compte les critères environnementaux, le caractère durable de la croissance ;
 - des réseaux de **veille sanitaire** ;
 - des mesures relatives aux diverses **pollutions.**

- **des programmes de recherche liés au climat et aux ressources énergétiques** (garantie de durée, connexions entre secteurs de recherche) avec comme thèmes prioritaires l'océan, l'eau, la désertification et la déforestation.

- De **nouvelles exigences** concernant les principaux secteurs de **production** :

- **agriculture** économe en énergie et en eau ;

- De **nouvelles approches politiques** dans des cadres rénovés seraient souhaitables pour :

- élaborer **une politique européenne d'aménagement du territoire** prenant en compte les impacts des changements climatiques sur les sociétés humaines et sur la biodiversité dans le respect des espaces protégés. Cela conduirait, en France, à repenser les missions et les moyens du Plan et de la DATAR et à coordonner leurs efforts avec des organismes équivalents dans les autres pays de l'Union européenne.

- élaborer **une politique de la biodiversité** ;

- progresser vers **une coopération totale entre États** sur l'eau.

- Des priorités directement dictées par **le caractère durable du développement** pourraient consister à :

- enseigner et promouvoir **les économies d'énergie et l'efficacité énergétique** ;

- développer toutes les formes d'**énergies renouvelables** ;

- maîtriser **le transport** aérien, notamment en développant le télétravail, les téléconférences, les liaisons ferroviaires à grande vitesse) ;

- accorder la priorité aux **investissements destinés au rail** par rapport à ceux destinés à la route, ce qui correspond à une inversion de situation actuelle.

- Des **moyens d'action** améliorés commenceraient par :

- former des **équipes pluridisciplinaires de négociateurs** en France et en Europe pour participer aux conférences internationales –face à des négociateurs Anglo-Saxons mieux rompus à ces exercices.

- Des moyens de **communication** seraient à promouvoir pour :

- élaborer et publier des **bulletins médico-météorologiques** afin de mieux informer la population sur la réalité des risques de son environnement quotidien ;

- communiquer sur **les progrès accomplis dans la réduction** des émissions de gaz à effet de serre par rapport aux objectifs annoncés pour que les campagnes médiatiques lancées aient un impact durable et motivent chacun dans son comportement quotidien.

III. POUR QUI ?

Les solutions envisagées, pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial et éviter les effets négatifs des changements climatiques, comportent **des enjeux très différents selon les pays considérés**.

Si **deux grands groupes de pays**, les pays développés et les pays exclus, peuvent être distingués, de nombreuses différences apparaissent entre les membres de chacun de ces groupes.

A. PAYS DÉVELOPPÉS ET NOUVEAUX PAYS DÉVELOPPÉS

Le protocole de Kyoto distingue entre les pays auxquels s'appliquent intégralement les dispositions du protocole et ceux qui le rejoignent tout en bénéficiant de clauses moins restrictives adaptées à chacune de leurs situations, comme cela a été développé dans la troisième partie du rapport.

En outre, d'autres pays sont libres de s'associer au protocole.

À cette architecture logique, sont venus s'ajouter les complexités de la réalité des négociations politiques.

Si le climat est bien **un enjeu planétaire**, les négociations liées à celui-ci sont, en elles-mêmes, devenues d'autres enjeux bien plus individualisés.

Le groupe des pays développés, à l'origine de la révolution industrielle, pays qui auraient dû se trouver unis autour du plus grand émetteur de gaz à effet de serre de la planète, **les États-Unis d'Amérique**, pour réduire ensemble leurs émissions, se voient dans l'obligation de donner l'exemple pour l'application du protocole de Kyoto, alors que le principal acteur s'est retiré de la distribution des rôles mais compromet tout de même le succès de la pièce du fait de ses émissions massives de gaz à effet de serre.

Bien plus, au cours des négociations climatiques de ces dernières années, les États-Unis d'Amérique ont constitué autour d'eux, **le groupe dit du « parapluie » (*Umbrella*) rassemblant le Canada, l'Australie et le Japon.** Ces pays ont obtenu des avantages en échange de la poursuite de leur participation aux négociations climatiques.

En effet, sous prétexte d'exiger l'association au protocole de Kyoto des pays en voie de développement et des pays nouvellement développés - Chine, Inde, par exemple- qui ne manqueront pas de devenir d'importants émetteurs de gaz à effet de serre au cours du XXI^{ème} siècle, du fait d'un développement calqué sur le mode occidental, les pays du groupe du parapluie, ont exercé, sur les autres partenaires du protocole de Kyoto, une sorte de chantage incessant à la non-signature, à la non-ratification et à la non-application du protocole.

De la sorte, tantôt l'un, tantôt l'autre de ces pays a obtenu d'importantes atténuations aux rigueurs du protocole ; par exemple, en obtenant une meilleure prise en compte de ses puits de carbone réels ou supposés, comme ce fut le cas, par exemple, lors de la conférence de Marrakech pour la Russie et le Japon.

Ces atténuations, ces dérogations de fait, étaient d'autant plus facilement accordées qu'à un moment donné, la survie du protocole en dépendait.

Paradoxalement, plus le texte du protocole se vide de sa substance, au bénéfice d'un certain nombre d'États, plus les concessions sont grandes pour tenter de parvenir aux conditions formelles de sa mise en application.

Maintenant, celle-ci dépend de **la Fédération de Russie**, qui a déjà obtenu, dès 1997, le droit d'émettre des quantités de gaz à effet de serre tout à fait inattendues par rapport à l'objectif de Kyoto.

Faut-il rappeler qu'il s'agit, depuis 1997, de fixer des règles strictes applicables à la période 2008-2012 et que, trop de données montrent que les principaux acteurs s'éloignent dès à présent des normes qui permettent de respecter les objectifs du protocole ?

Que penser à cet égard, du choix récent de **l'Allemagne** de renoncer totalement à l'énergie nucléaire à l'avenir ? De celui des **États-Unis d'Amérique** de ne pas renouveler leurs centrales nucléaires au terme de la durée de vie de celles-ci ?

B. LES EXCLUS DU FAIT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Au delà des subtilités des négociations internationales ou des spéculations sur le caractère, bénéfique ou non, des permis d'émission négociables, certains pays vont se trouver exclus, davantage ou d'une nouvelle manière, d'abord en raison même des impacts des changements climatiques et aussi du fait des nouvelles règles du jeu qui en découleront probablement.

1. L'impact négatif des changements climatiques sur certains pays.

Qu'il s'agisse de l'élévation du niveau de la mer et de **la submersion** éventuelle de certains États îliens du Pacifique, d'une partie du Bangladesh, de **la désertification** accrue de pays d'Afrique, de la poussée démographique alliée à **la pénurie d'eau** au Maghreb et au Moyen-Orient, de **l'érosion des côtes** où sont implantées des mégapoles sous-équipées –sur la côte ouest de l'Afrique en particulier– des conséquences néfastes des **cyclones**, des **précipitations diluviennes** ou de tout autre **phénomène extrême**, devenu plus fréquent, **l'évolution du climat renforcera nombre d'exclusions**.

Face à des problèmes d'une telle ampleur à résoudre dans l'urgence, que pèseront les projets de «développement propre» destinés à permettre à ces pays, durement frappés, d'évoluer vers un mode de vie occidentalisé tout en adoptant un développement durable ?

Il est à craindre, comme l'a observé votre Rapporteur, dans ses déplacements en Israël et aux Pays-Bas, que l'intérêt porté aux impacts des changements climatiques viennent après d'autres priorités vitales, comme en Israël, ou que la possibilité d'éviter les conséquences climatiques les plus néfastes des dits changements ne soit étroitement liée à la capacité de faire preuve d'un niveau technique et d'investissement très élevé –comme celui nécessité par la surélévation des digues aux Pays-Bas.


*

Pourtant, diminuer très fortement et très rapidement les émissions de gaz à effet de serre apparaît bien comme **une légitime priorité internationale** car résultant d'un enjeu planétaire incontestable.

Mais, aucune autorité ne semble à même de faire valoir cette priorité, à moins qu'**une prise de conscience très large** intervienne dans l'opinion, auprès de très nombreux passagers du vaisseau spatial Terre.

2. La difficulté d'une prévision climatique régionale

Dans le contexte décrit ci-dessus, des prévisions climatiques régionales permettraient peut-être de mieux affronter les évolutions en cours.


Mais, selon M. Jean-François MINSTER , il sera nécessaire **d'attendre encore quatre ou cinq années pour détenir des prévisions sur les effets régionaux des changements climatiques.**

Depuis vingt ans, les impacts des changements climatiques sur les deltas des fleuves, sur la fréquence des inondations, sur la pêche, sur les marais constituent des préoccupations de recherche. Mais ce n'est que depuis une dizaine d'années que les moyens techniques de traiter ces problèmes existent.

Toutefois, même encore mal estimés, il est certain que **les impacts régionaux des changements climatiques seront loin d'être négligeables puisque, par définition, certains d'entre eux dépasseront les effets moyens.**

IV. À QUELLES CONDITIONS ?

A quelles conditions la prise de conscience souhaitée ci-dessus pourrait-elle s'opérer ? Après quelques mois d'investigations, il est apparu à votre Rapporteur que la sensibilisation de l'opinion à la problématique des changements climatiques était encore plus urgente que la poursuite de telle recherche ou l'obtention des résultats de telle simulation.

La Conférence des Citoyens, organisée les 9 et 10 février 2002, est partie du même constat  ⁽¹⁾.

A. SENSIBILISATION DE L'OPINION

Au-delà des articles de presse, des émissions de télévision, des colloques multiples, des publications scientifiques, la sensibilisation de l'opinion sur le thème de la lutte contre l'intensification de l'effet de serre ne fait que commencer.

⁽¹⁾ Le texte intégral de la déclaration finale de cette Conférence des Citoyens figure sur le Cd-rom relatif aux changements climatiques joint au présent rapport.

Votre Rapporteur, encouragé dans ce projet par le Président de l'OPECST, a souhaité la diffusion du présent rapport et du double Cd-rom qui y est associé d'une part, au plus grand nombre possible d'élus nationaux, régionaux, départementaux ou locaux et, d'autre part, à tous les élèves des lycées à travers la remise d'un exemplaire de ce triple document aux Centres de Documentation et d'Information (C.D.I.) de ces établissements.

En effet, ces documents peuvent constituer un bon complément à **l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre (S.V.T.)**, obligatoire pour tous les élèves des collèges et des lycées. Dans ce cadre, le phénomène de l'effet de serre est enseigné et le développement durable décrit.

Cette action apparaît d'autant plus nécessaire que, depuis le milieu des années 1980, aucune action nationale d'information sur les économies d'énergie n'a été entreprise. Ce sont donc des classes d'âge entières qui ont manqué d'un éveil sur ce thème.

Les tranches les plus jeunes de la population n'ont pas été sensibilisées à l'impératif des économies d'énergie.

B. ÉDUCATION

Compte tenu des délais dans lesquels les changements climatiques vont probablement se manifester, ce sont plutôt **les jeunes âgées aujourd'hui de dix ans au maximum**, qui connaîtront la réalité des phénomènes aujourd'hui seulement envisagés. Mais ce sont les **lycéens actuels** qui auront à prendre des décisions collectives ou individuelles liées à cet avenir.

Ils vivront sur une planète ainsi modifiée et devront s'en accommoder, ils auront à décider de réactions face à ce nouvel état de leur environnement.


A cet égard, il est intéressant de noter qu'**en France, les programmes scolaires de seconde et de terminale** incluent aujourd'hui des parties traitant de l'atmosphère, de l'effet de serre, du développement durable et de l'environnement planétaire.

De plus, dans **l'enseignement supérieur**, il est envisagé de créer de nouveaux enseignements, voire de nouvelles formations correspondant davantage au caractère global des données à maîtriser par l'homme.

Des formations interdisciplinaires pourraient être organisées ainsi que **de meilleurs procédés de dialogue pluridisciplinaire**.

À une échelle plus modeste, votre Rapporteur a constaté, peu après le début de ses investigations sur les changements climatiques en 2100, qu'il



n'était pas normal de prendre une posture d'attente en espérant des scientifiques la réponse à toutes les questions, leur rôle consistant d'ailleurs davantage à bien formuler celles-ci. Il a estimé qu'il n'était pas davantage raisonnable de patienter jusqu'à l'entrée en vigueur des conventions internationales, même étendues à de nouveaux États ; en revanche, il lui est apparu indispensable de **mieux informer les jeunes générations sur l'état de la planète qui leur sera léguée.**


Déjà, des **brochures pratiques**, comme celle de RAC-France « *SOS Climat* »  indiquent **des gestes quotidiens, à la portée de chacun**, pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre ; l'ADEME a pris des initiatives dans le même sens, notamment à travers la récente **campagne télévisuelle** incarnée par le comédien Fabrice LUCCHINI, opérant des rapprochements inattendus entre des éléments de la nature et des engagements des sociétés industrialisées dont les liens ne s'imposent pas de prime abord – comme celui entre l'ours polaire et l'ampoule électrique...

Le présent rapport devrait apporter sa contribution à cette éducation des citoyens du monde à effet de serre renforcé et suggérer aussi de nouveaux comportements quotidiens vécus.

C'est pourquoi, votre Rapporteur a imaginé, soutenu par les Présidents successifs de l'OPECST et les Bureaux de l'Assemblée nationale comme du Sénat, d'éditer le présent rapport sous forme de **Cd-rom diffusé, en particulier, aux Centres de Documentation et d'Information (CDI) des lycées de France** pour que la richesse des documents associés à ce rapport constitue une source d'information particulièrement attractive.

Elle pourrait, par exemple, servir de base aux **Travaux Personnels Encadrés** (T.P.E.) dont bénéficient, depuis l'an dernier, les classes de Première et de Terminale.

Des rapports de l'Académie des Sciences, du Sénat, du Conseil Economique et Social, de la Mission interministérielle de l'effet de serre (MIES), de l'ADEME, du GIEC, des articles parus dans la revue « Sécheresse » , **des séquences vidéo du CNES**  **figurent sur le Cd-rom publié parallèlement au rapport écrit.**

De plus, l'actuel ministre de l'environnement, **M. Yves COCHET**, a accepté d'emblée d'apporter sa pierre à l'édifice avec l'insertion dans le Cd-rom de son rapport sur l'efficacité énergétique .

Par ailleurs, en plus du Cd-rom sur les changements climatiques, **un autre Cd-rom**, associé au présent rapport **regroupe les 65 rapports de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, l'OPECST, parus de 1985 à 2001**, dont plusieurs traitent de

thèmes complémentaires à celui des changements climatiques et auxquels le présent rapport renvoie en tant que de besoin.

Il en est ainsi, par exemple, lorsqu'il est question du **véhicule électrique**, des **risques naturels**, des **déchets**, des **énergies renouvelables**...

Mettre en commun les efforts considérables d'auteurs d'horizons très différents à la poursuite du même but, à savoir la meilleure connaissance des causes et impacts des changements climatiques au cours du XXI^{ème} siècle, telle fut la contribution de votre Rapporteur en espérant s'adresser non seulement aux interlocuteurs habituels de l'OPECST mais aussi au plus grand nombre possible d'élus nationaux, régionaux, départementaux ou locaux, et à de plus jeunes lecteurs soucieux du monde qui sera le leur demain.

CONCLUSION

Le climat de la planète va probablement changer de manière assez sensible au cours du présent siècle. Et, ce, en grande partie **du fait des activités humaines**, des retombées de la civilisation actuelle. Cela va modifier la situation d'individus, de régions, de pays et même de continents.

Face à cela, **l'homme peut-il faire valoir un droit acquis au climat ?** Pourquoi pas. Mais ce sera face à lui-même, aux générations qui viennent de le précéder comme à la génération actuelle et, surtout, face aux générations futures.

Cependant, même si au niveau international, à celui de chaque État, entreprise ou individu, la volonté de conserver le climat actuel se manifestait de manière immédiate, unanime et irrévocable, **l'humanité devrait attendre plusieurs dizaines d'années pour constater l'arrêt de l'évolution en cours relative à la hausse de la température et plusieurs centaines d'années pour voir cesser l'élévation du niveau des mers.**

Sans cette volonté, suivie d'une action de très grande ampleur, les changements climatiques s'accéléraient. L'énoncé brutal de ce fait peut favoriser une prise de conscience qui nécessite **l'ouverture d'un vaste débat public au-delà du cercle des divers spécialistes.**

Par le présent rapport, assorti de rapports ou publications connexes essentiels à la connaissance des données de la question des changements climatiques, l'OPECST a souhaité, grâce à une diffusion de ces travaux au moyen d'un Cd-rom, élargir le cercle des personnes intéressées par ces questions et, surtout, **donner à chacun les moyens de s'informer directement afin de se forger une opinion personnelle.**

Cela devrait initier des modifications dans les comportements individuels et collectifs, de même que la prise en compte de nouvelles préoccupations dans les décisions publiques et privées.

Sans plus tarder mais sans alarmisme, l'homme a le devoir de se réapproprier la planète mais, désormais, en bannissant les abus que seule l'Antiquité associait au droit de propriété.

La Terre est non seulement le vaisseau spatial qui transporte l'humanité mais, bien plus, elle est le milieu sans lequel toute vie serait impossible. Grâce aux algues bleues, elle est devenue la planète vivante, du fait de l'homme...

Est-ce suffisant pour convaincre ?

RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES ET PRÉCONISATIONS RELATIVES À LA VIE QUOTIDIENNE

Dans la mesure du possible, votre Rapporteur s'est efforcé d'assortir chaque série de **recommandations générales** – dont trente recommandations prioritaires figurant dans un encadré – de **préconisations concrètes relatives à la vie quotidienne** afin de recommander des modes d'action ou des gestes simples que chaque passager du vaisseau spatial Terre peut accomplir dans son propre intérêt et dans celui de ses descendants.

Agriculture, forêt, élevage

Agriculture

Prévoir

- | | |
|------|---|
| A. 1 | Instaurer un lieu de réflexion à long terme sur l'agriculture en Europe et sur le pourtour de la Méditerranée |
| A. 2 | Promouvoir des systèmes de production (engrais, cultures, élevage) économes en énergie et en eau. Réguler l'usage de l'irrigation agricole en fonction de sa nécessité et de son efficacité |
| A. 3 | Envisager la constitution et la gestion des stocks alimentaires à moyen terme de manière à faire face à des pénuries causées par des événements ou des changements climatiques de grande ampleur |
| A. 4 | Améliorer l'agriculture et la gestion de la forêt dans d'autres parties du monde |

Connaître

- | | |
|------|---|
| A. 5 | Etablir des indicateurs de performance pour l'environnement permettant notamment de comparer les impacts de l'intensification de l'effet de serre avec d'autres impacts environnementaux. |
| A. 6 | Evaluer l'enrichissement et l'appauvrissement des sols en matière organique |
| A. 7 | Mesurer et limiter les émissions de méthane, d'oxyde nitreux... |
| A. 8 | Former des naturalistes |
| A. 9 | Evaluer l' impact des épandages et obtenir la traçabilité des boues d'épandage |

S'adapter aux changements climatiques

- A. 10** Approfondir la recherche agronomique sur le développement des **espèces moins consommatrices en eau** et plus adaptables
- A. 11** Etablir **une carte des gammes de potentialité des productions agricoles** selon les climats

Forêt

- A. 12** Poursuivre la politique actuelle de **gestion de la forêt française** en assurant sa cohérence sur le long terme, en fonction des changements climatiques
- A. 13** Vulgariser **les connaissances sur la forêt**

Elevage

- A. 14** Repenser les implantations, l'importance et la nature des **élevages**, région par région en fonction des nuisances occasionnées par ceux-ci (méthane, lisier, ...) après réalisation de bilans carbone

Aménagement du territoire et biodiversité

Vouloir

- A.T. 1** Eriger en priorité l'élaboration d'**une politique européenne d'aménagement du territoire** prenant en compte les impacts éventuels des changements climatiques sur :
- les sociétés humaines
 - la biodiversité
- dans le respect des espaces protégés.
- En conséquence, repenser **le Plan** et **la DATAR** dans le contexte européen

Agir

- A.T. 2** Adopter **une défense souple contre l'élévation du niveau de la mer et les crues des cours d'eau** dans l'intérêt :
- des sociétés humaines
 - de la biodiversité
- en accordant une attention particulière aux zones humides, dans le respect des zonages et des réglementations
- A.T. 3** Proposer l'élaboration dans toute l'Europe d'**une carte des actuelles et futures zones à risques naturels**, en assurer la diffusion et réexaminer le coût d'un respect des normes par rapport à celui du risque à éviter pour les constructions ayant bénéficié d'**implantations dérogatoires** par rapport aux zones inondables passées ou actuelles
- A.T. 4** Repenser en agriculture et en élevage le degré de **spécialisation des régions**

Biodiversité

- B. 1** Elaborer **une politique de la biodiversité** comprenant :
- . **la préservation des zones humides**
 - . le développement dans les **programmes scolaires** de la **sensibilisation à la biodiversité**
 - . la création d'un **réseau d'observatoires de la biodiversité** : par exemple, sur les montagnes pour le suivi des espèces
 - . l'élaboration d'un **inventaire des richesses des territoires en biodiversité**

Eau

| | |
|-------------|--|
| E. 1 | Progresser vers une coopération totale entre Etats sur l'eau à travers : <ul style="list-style-type: none">.le choix de faire de l'Europe la championne de la politique de l'eau.les effets contraignants donnés à la Charte européenne de l'eau de 1994.la mise en place de coopérations régionales au lieu de coopérations bilatérales sur l'eau |
|-------------|--|

E. 2 Surveiller toutes **les pollutions de l'eau** : par les nitrates, les pesticides, les composés organiques, les métaux lourds...

E. 3 Prévoir **les déficits en eau** par bassin hydrologique et :

- . Rationaliser les **usages excessifs de l'eau** (gaspillages en irrigation...)
- . Améliorer le **stockage de l'eau**
- . Promouvoir les techniques d'**enrichissement et d'optimisation des nappes phréatiques** (lagunage...)
- . Développer les techniques de **réutilisation de l'eau**
- . Evaluer l'intérêt de la création d'**un double réseau d'eau** dans les zones à urbaniser ou à rénover

E. 4 Améliorer les techniques de **dessalement de l'eau de mer**

... et, **dans la vie quotidienne**, chacun peut **économiser l'eau** en choisissant de :

V.Q. 1 **Récupérer les eaux pluviales** pour de multiples usages domestiques (arrosage du jardin, lavage de la voiture, alimentation des toilettes...)

V.Q. 2 Prendre des **douches** plutôt que des bains

- V.Q. 3 Privilégier l'installation de **robinets d'eau à arrêt automatique**
- V.Q. 4 Déceler puis **supprimer les fuites d'eau**
- V.Q. 5 Choisir **lave-linge et lave-vaisselle** en fonction de leurs performances en **économie d'eau**
- V.Q. 6 Equiper les toilettes d'**un réservoir à double capacité**

Economie

Eco. 1 Etablir de nouveaux **indicateurs de bien être à long terme** différents de l'addition des taux de croissance annuels (prise en compte de critères environnementaux, du caractère durable de la croissance...)

Eco. 2 Disposer d'un bilan actualisé en permanence des **ressources naturelles non renouvelables** (comprenant les espèces et les écosystèmes) au regard de l'état des technologies

Energie

E. 1 Enseigner et promouvoir les **économies d'énergie et l'efficacité énergétique :**

. Réserver, par exemple, **la climatisation** des immeubles comme des véhicules aux seuls besoins impérieux

E. 2 Etudier sans passion la chaîne technologique de **l'énergie nucléaire** et conduire des campagnes d'information afin de tendre vers un consensus national et international de reconnaissance de la situation exceptionnelle de la France par rapport à la production d'énergie

| | |
|-------------|---|
| E. 3 | Développer toutes les formes d' énergies renouvelables (éolien, photovoltaïque, biomasse, dont les biocarburants) selon leur coût et leur respect de l'environnement, améliorer leur efficacité économique et, par exemple : |
|-------------|---|

- . Accroître la part de la **mini-hydraulique** dans la production d'électricité
- . Améliorer les performances des **grands barrages**

E. 4 Développer la **cogénération**

E. 5 Accélérer les recherches sur la **pile à combustible**

E. 6 Mener à bien **un plan d'action bois-énergie**

E. 7 Réaliser des **bilans d'émission de gaz à effet de serre** dans les entreprises publiques et privées, dans les administrations, dans les collectivités territoriales

... et, **dans la vie quotidienne**, chacun peut **économiser l'énergie** en choisissant de :

V.Q. 7 Acquérir des **appareils ménagers** en fonction de leur **performance énergétique**

V.Q. 8 Utiliser ses équipements ménagers en **mode « économique »**

V.Q. 9 **Eteindre la lumière** en quittant une pièce

V.Q. 10 **Eteindre plutôt que de laisser en veille les appareils électriques** (télévisions, ordinateurs...)

V.Q. 11 Prendre l'habitude de **lire les thermomètres** et de régler en conséquence les appareils consommant de l'énergie

Fiscalité

- F. 1** Instaurer **un taux réduit de T.V.A.** pour les produits ou services permettant de lutter contre l'intensification de l'effet de serre et améliorer la politique **d'aide aux investissements** permettant des économies d'énergie.

Institutions

- I. 1** Intégrer **la connaissance scientifique** aux lieux de décisions politiques
- I. 2** Lancer une réflexion sur la prise en compte des **intérêts des générations futures** dans les instances politiques
- I. 3** Favoriser la traduction des impératifs du **développement durable** dans toutes les grandes décisions engageant l'avenir
- I. 4** Réfléchir à la possibilité d'**une véritable organisation mondiale de l'environnement**

Recherche

- | | |
|-------------|---|
| R. 1 | Donner des garanties de durée aux programmes de recherche liés aux climats ou aux ressources énergétiques... Adapter les moyens à cette durée (ex : des techniciens pour alimenter en données les modèles créés) |
|-------------|---|

- | | |
|-------------|--|
| R. 2 | Développer les connexions entre les recherches climatiques et les recherches politiques, sociologiques, économiques, démographiques... influant sur les données indispensables aux recherches climatiques |
|-------------|--|

- R. 3** Etendre la **coordination** entre tous les centres de recherche travaillant sur les changements climatiques (en France, en Europe et dans le monde) à **l'accès partagé aux calculateurs**, à tous les moyens de recherche, aux données, aux réseaux

- R. 4** Accroître la représentation de la France et de l'Europe au sein du **G.I.E.C.** et reconnaître aux **chercheurs**, qui participent à ce type de travaux ou à des négociations internationales, la possibilité d'en attendre un impact positif sur leur carrière
- R. 5** Maintenir dans la durée la **programmation de la recherche** en France et en Europe
- R. 6** Poursuivre la réforme des techniques d'**appels d'offres européens** pour éviter à la fois l'émiettement et l'absence de suivi des études
- R. 7** Favoriser la mise en place d'une très bonne **veille technologique** compte tenu de la rapidité des changements techniques. Exemple : le véhicule tout électrique considéré comme une solution il y a seulement quelques années apparaît aujourd'hui comme une solution en partie dépassée
- R. 8** **Intensifier les recherches sur :**

La climatologie

⇒ l'**océan**,

⇒ la récapitulation des **connaissances acquises**,

⇒ les systèmes d'**observation**,

⇒ la microphysique des **nuages**,

⇒ le **stockage du carbone** dans le sol (terres agricoles, prairies...),

⇒ l'**enfouissement du CO₂**,

⇒ les **liens** entre changement de temps et variation des **précipitations**,

L'eau

⇒ la **valeur économique de l'eau** et les choix rationnels liés à l'utilisation de celles-ci,

⇒ la **désertification**

⇒ les possibilités de **stockage des nouvelles ressources en eau** liées à la modification prévisible de la pluviométrie,

⇒ **le droit international de l'eau**, sous l'impulsion de l'Union européenne,

⇒ **les espèces agricoles** (notamment leur consommation d'eau)

La forêt

⇒ le suivi de **la déforestation** et les moyens de l'enrayer,

⇒ **la forêt tropicale**,

⇒ les modifications intervenant dans **le milieu forestier** (air et sol des forêts, répartition des essences, évolution des populations d'insectes et de champignons),

⇒ **les modèles de végétation et d'hydrologie** à perfectionner

La santé

⇒ **la vaccination** contre les maladies à vecteurs (paludisme...)

Les risques

⇒ **la cartographie des risques** (programmes d'Etat à favoriser)

Relations internationales

Négociations internationales

R.I. 1

Former des **équipes pluridisciplinaires de négociateurs** en France et en Europe

à même d'être en relation permanente – au niveau optimal au cours des négociations – avec les scientifiques et tous les spécialistes concernés.

A cette fin :

- . Développer des **formations supérieures** initiales et continues **aux techniques juridiques de négociation des accords internationaux**, et en faire bénéficier tous les participants à des négociations internationales.
- . Associer systématiquement **des équipes de forestiers, d'agronomes et d'océanologues français** aux négociations internationales relatives au climat et aux travaux du GIEC.

R.I. 2 Adapter les techniques des négociations internationales au **monde actuel**

Commerce international

R.I. 3 Favoriser l'**exportation des technologies françaises**

Santé

Veille sanitaire

| | |
|-------------|---|
| S. 1 | Développer des réseaux de veille sanitaire : . Développer l'étude des relations entre climat et santé dans les DOM-TOM |
|-------------|---|

| | |
|-------------|--|
| S. 2 | Multiplier les relevés de mesures relatives aux diverses pollutions (air, eau, acariens) à l'extérieur comme à l'intérieur des locaux abritant la vie et l'activité humaines et notamment : . Mesurer les polluants dans les rues afin d'analyser la composition du mélange ambiant respiré . Poser des hygromètres dans les locaux |
|-------------|--|

| | |
|-------------|---|
| S. 3 | Elaborer et publier des bulletins médico-météorologiques |
|-------------|---|

- S. 4 Distinguer entre **les notions de risques et de seuils** pour identifier l'émergence des problèmes de **santé publique**
- S. 5 **Croiser les études sur la santé de l'homme** avec celles effectuées par les vétérinaires sur la santé des animaux
- S. 6 Former des **entomologistes médicaux**
- S. 7 Elargir le **réseau de l'OMS** dans le monde

... et, **dans la vie quotidienne**, chacun peut favoriser **un meilleur état de santé** de tous en choisissant de :

- V.Q. 12 **Se déplacer de préférence à pied, à bicyclette**
- V.Q. 13 **Couper le moteur de son véhicule à l'arrêt**
- V.Q. 14 **Adapter la température des locaux** à leur usage et à leur durée d'utilisation
- V.Q. 15 **Aérer** régulièrement les pièces les plus humides de son habitation
- V.Q. 16 **Consommer** de préférence les aliments dont la production améliore le bilan carbone ou la non production de gaz à effet de serre, donc **davantage de végétaux et de céréales**
- V.Q. 17 **S'hydrater** quand il fait chaud, surtout pour les personnes âgées

Sécurité civile

- S.C. 1 **Former, informer, entraîner** à tous les aspects de sécurité civile liés aux accidents météorologiques
Organiser des **exercices de simulation** aux échelons locaux, régionaux et nationaux -comme le fait le Japon- **face à des difficultés nées de risques naturels** (inondations, pollutions diverses, épidémies, incendies, mouvements sismiques, tempêtes...)

Sensibilisation de l'opinion

=== Aspect prioritaire ===

Forums

| | |
|---------------|---|
| S.O. 1 | Lancer en France un grand débat national sur le changement climatique s'inspirant de ce qui a été fait en Allemagne et en Belgique |
|---------------|---|

| | |
|---------------|--|
| S.O. 2 | Organiser des lieux de dialogues contradictoires interculturels sur les changements climatiques |
|---------------|--|

| | |
|---------------|---|
| S.O. 3 | Communiquer sur les progrès accomplis dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre par rapport aux objectifs annoncés |
|---------------|---|

Medias

S.O. 4 **Utiliser tous les médias pour former et informer sur les changements climatiques :**

- Introduire dans **les programmes scolaires** :
 - l'apprentissage des gestes et comportements quotidiens propres à **économiser toutes les formes d'énergie** ;
 - la compréhension de **la complexité du milieu de vie**
- Favoriser le développement de **l'Institut des Hautes Etudes de l'Environnement** en y intégrant les préoccupations climatiques
- Créer **un site Internet universitaire interdisciplinaire sur les changements climatiques** dont la mise à jour permanente serait assurée par des étudiants de 3^{ème} cycle
- Produire **des émissions de télévision pédagogiques** sur l'intensification de l'effet de serre et les changements climatiques
- **Réaliser un Cd-rom** regroupant le rapport de l'OPECST sur les changements climatiques en 2100 et nombre de rapports et documents de référence sur ce thème

- **Diffuser ce Cd-rom** à tous les lycées de France, aux collectivités territoriales, aux conseillers scientifiques des Ambassades de France dans le monde. Eventuellement, le traduire en anglais.
- Produire **une série audiovisuelle de fiction** afin de sensibiliser le grand public à la diversité et au rythme des retombées des changements climatiques

... et, **dans la vie quotidienne**, chacun peut :

V.Q. 18 **Diffuser les propositions et recommandations du présent rapport** dans ses sphères directes d'influence

Transports

Aérien

| | |
|-------------|---|
| T. 1 | Maîtriser la croissance des transports aériens (favoriser le télétravail, la téléconférence, les liaisons ferroviaires...) et donc : • Soumettre le transport aérien aux mêmes règles fiscales que les autres modes de transports en France, en Europe et dans le monde. |
|-------------|---|

Ferroviaire

| | |
|-------------|---|
| T. 2 | Accorder la priorité aux investissements destinés au rail par rapport à ceux destinés à la route (inversion de la tendance actuelle) |
|-------------|---|

et, pour cela :

- Evaluer le rapport coût-efficacité de la construction d'**un réseau ferroviaire européen dédié au fret**
- Améliorer toutes les **liaisons intermodales**
- Développer le transport **rail-route**
- Moderniser le parc de **locomotives diesel**
- Installer des escaliers roulants pour accéder aux **moyens de transport en commun** (vieillesse de la population)

Fluvial et maritime

| | |
|-------------|--|
| T. 3 | Favoriser le transport fluvial , et, pour cela : - Réaliser le canal Seine-Nord - Réaliser le canal Saône-Moselle |
|-------------|--|

| | |
|-------------|--|
| T. 4 | Réaliser l'intermodalité dans les ports |
|-------------|--|

Routier

| | |
|-------------|--|
| T. 5 | Cesser de favoriser le transport routier de marchandises (choix d'investissements, prise en compte des coûts réels pour la collectivité...) |
|-------------|--|

Véhicules automobiles

| | |
|-------------|--|
| T. 6 | Limiter dès leur construction la vitesse maximale des véhicules automobiles |
|-------------|--|

T. 7 Favoriser la multiplication des véhicules à **boîte de vitesse automatique** (conduite économique et apaisée)

T. 8 Enseigner **une conduite économique des véhicules** (gain de carburant de 15 %)

T. 9 Réglementer les pollutions (air et son) et la vitesse des **véhicules à moteur à deux roues**

T. 10 Faire du développement des **transports en commun une vraie priorité**

... et, **dans la vie quotidienne** , chacun peut :

choix du mode de transport

V.Q. 19 **Ne prendre l'avion qu'à bon escient**

V.Q. 20 **Voyager en train, tramway, métro**, plutôt qu'en automobile ou en avion

économies

V.Q. 21 **Consommer les produits transportés sur les plus courtes distances**

V.Q. 22 Privilégier l'achat de **produits de saison**

automobiles

V.Q. 23 **Renoncer à se déplacer en automobile :**

- sur des **trajets encombrés**
- de **petits trajets**

V.Q. 24 Acquérir de préférence **un véhicule hybride** plutôt qu'un véhicule essence ou diesel

V.Q. 25 Adapter **l'achat de son véhicule** à ses **besoins réels** – pourquoi circuler dans un puissant 4x4 tout terrain sur du bitume pour atteindre 20 km/h dans un embouteillage ?

V.Q. 26 **Entretien régulièrement son véhicule**

V.Q. 27 **Respecter les limitations de vitesse**

V.Q. 28 Adopter **un mode de conduite apaisé** et donc économique –jusqu'à 40 % d'économie de carburant

Urbanisme et habitat

| | |
|-------------|---|
| U. 1 | Définir et respecter des zones foncières à long terme en fonction des plans de prévention des risques prévisibles, à moyen et long terme |
|-------------|---|

U. 2 Modifier **la fiscalité** applicable aux transactions immobilières pour inciter au rapprochement de l'habitat des lieux de travail

U. 3 Favoriser **le télétravail**

U. 4 Mener à bien **un plan d'action bois-matériau**

U. 5 Installer de préférence des **ascenseurs à contrepoids**

U. 6 Lancer une campagne nationale sur l'intérêt des **lampes à basse consommation**

U. 7 Prévoir des **interrupteurs** sur tous les appareils domestiques

U. 8 **Respecter les réglementations** applicables aux immeubles publics ou privés

... et, dans la vie quotidienne, chacun peut :

V.Q. 29 Préférer faire construire **un bâtiment intégré au climat** de son lieu d'implantation

V.Q. 30 Utiliser des **énergies renouvelables** pour son habitat

V.Q. 31 Veiller à **une bonne isolation** des murs, – à l'extérieur comme à l'intérieur – du circuit d'eau chaude et à la qualité des vitrages

- V.Q. 32** Privilégier l'**éclairage naturel** lors d'une construction ou d'une rénovation
- V.Q. 33** S'équiper de **lampes fluocompactes** plutôt que d'ampoules à filament

EXAMEN DU RAPPORT PAR L'OFFICE

Au cours de la réunion de l'Office tenue le mercredi 30 janvier 2002, **M. Marcel DENEUX, sénateur, rapporteur de l'étude sur « l'ampleur des changements climatiques, de leurs causes et de leur impact prévisible sur la géographie de la France à l'horizon 2025, 2050 et 2100 »**, a présenté son rapport aux membres de l'Office et leur a proposé **l'adoption de recommandations générales, dont une trentaine de recommandations prioritaires, ainsi que de préconisations relatives à la vie quotidienne.**

A la suite de cette présentation générale, **M. Henri REVOL, sénateur, premier vice-président**, s'est demandé s'il existait un consensus des milieux scientifiques sur **le rôle de l'homme dans le réchauffement climatique** et si ce réchauffement ne s'inscrivait pas plutôt dans un cycle naturel d'évolution du climat.

M. Marcel DENEUX, sénateur, rapporteur, a confirmé que le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat, le GIEC (ou IPCC, en anglais) qui mène des travaux sur ce thème depuis 1988, venait de remettre à l'automne 2001 son troisième rapport et avait maintenant désigné sans ambiguïté l'homme comme responsable de l'intensification de l'effet de serre.

Il a ajouté que ce réchauffement, d'origine anthropique, s'inscrivait dans un cycle général de refroidissement qui devrait culminer dans 70 000 ans.

A une question de **M. Serge POIGNANT, député**, sur **l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur les côtes françaises** (trait de côte, érosion des falaises...), notamment à la suite de publications de cartes dans divers organes de presse, le rapporteur a précisé que nombre des cartes publiées indiquaient des rythmes et des niveaux d'élévation de la mer peu vraisemblables et, généralement, très exagérés. En effet, les experts du GIEC évoquent, au cours du XXI^e siècle, une hausse oscillant entre 45 et 95 cm en moyenne et non plusieurs mètres.

Dans une seconde réponse à **M. Serge POIGNANT**, sur **les dérèglements climatiques entraînant les cyclones**, le rapporteur a précisé que le réchauffement climatique était susceptible de modifier les rythmes des pluies, leur abondance et leur localisation. De plus, sans pouvoir établir de lien direct entre réchauffement et multiplication des phénomènes extrêmes, il a estimé qu'il serait avisé de prévoir des mesures de protection civile nouvelles face aux événements extrêmes.

M. Henri REVOL, sénateur, premier vice-président, a rappelé que bien des **phénomènes climatiques extrêmes** étaient qualifiés de « jamais vu », de « sans précédent », souvent parce qu'ils excédaient la capacité de mémorisation d'une génération et, que, même un événement marquant survenu il y a quatre-vingt-dix ans, pouvait être oublié, comme les deux tempêtes de décembre 1999 l'ont montré en maintes régions.

M. Marcel DENEUX, sénateur, rapporteur, a rappelé que le climat de la terre était variable, par définition, mais que les inquiétudes actuelles portaient sur la rapidité du rythme de l'évolution en cours causée par les agissements de l'homme, la portée planétaire du problème incitant à créer une Agence mondiale de l'Environnement.

Après avoir félicité le rapporteur pour la grande qualité de son étude, **M. Gérard MIQUEL, sénateur**, a tenu à rappeler l'atout que **le nucléaire** représente pour la France et, par ailleurs, les difficultés qui ne manqueraient pas de survenir pour installer **des éoliennes** en grand nombre.

Le rapporteur a précisé à ce sujet que même un programme ambitieux en faveur des énergies renouvelables ne permettrait pas de fournir plus de 15 % des besoins en énergie du pays.

M. Serge POIGNANT, député, et M. Henri REVOL, sénateur, premier vice-président, ont joint leurs félicitations à celles exprimées par leur collègue, et **M. Henri REVOL** a rappelé à quel point ce rapport était attendu en espérant que le nouveau mode de diffusion choisi, le **Cd-rom**, permette de toucher un public aussi large que possible, objectif auquel il attachait le plus grand prix.

Les recommandations du rapport de M. Marcel DENEUX, sénateur, ont alors été adoptées à l'unanimité.

LISTE DES ANNEXES

I – ANNEXES GÉNÉRALES

| | <u>Pages</u> |
|---|--------------|
| 1 – Saisines | 251 |
| 2 – Liste des personnes auditionnées | 255 |
| 3 – Rapports connexes figurant dans le cd-rom n° 1 sur les changements climatiques | 263 |
| 4 – Liste des colloques | 265 |

II – ANNEXES DE LECTURE DU RAPPORT

| | |
|--|-----|
| 5 - Chronologie de l'évolution des connaissances sur les changements climatiques | 267 |
| 6 – Engagement de l'Union européenne et de ses Etats-membres relatif à la réduction des émissions de gaz à effet de serre | 269 |
| 7 – Glossaire | 271 |
| 8 – Symboles chimiques | 275 |
| 9 – Sigles | 277 |
| 10 – Bibliographie | 279 |
| 11 – Sites Internet | 291 |

ANNEXE 1 – SAISINES

ANNEXE 2 - LISTE DES PERSONNES AUDITIONNEES

| | <u>Pages du tome II</u> |
|---|-----------------------------|
| • Académie des Sciences | 11 |
| - Professeur Maurice TUBIANA | |
| - M. Bernard TISSOT | |
| • Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) | 17 |
| - M. Pierre RADANNE | |
| - M. Jacques LABEYRIE | |
| • Airlines European Association (AEA) | 23 |
| - Mme Thi Mai LE | |
| • AIRPARIF | 27 |
| - M. Michel ELBEL | |
| - M. Philippe LAMELOISE | |
| • Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture (APCA) | 33 |
| - M. Guy VASSEUR | |
| - M. Jean-Noël TERRIBLE | |
| - M. Jacques PIOR | |
| • BNP PARIBAS | 37 |
| - M. Denis AUTIER | |
| - M. Emmanuel DEBOAISNE | |
| • Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.) | 41 |
| - M. Yves CARISTAN | |
| • Caisse Centrale de Réassurance (C.C.R.) | 45 |
| - M. Thierry MASQUELIER | |

- **CEA – CNRS** **49**
Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement
- M. Laurent TURPIN
- **CEMAGREF – Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement** **55**
- M. Pierrick GIVONE
- M. Jean-Louis VERREL
- **Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (CERTU)** **59**
- M. Jean-Pierre ROTHEVAL
- **Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)** **63**
- M. Jacques ARNOULD
- **Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)** **67**
- Mme Anny CAZENAVE
- **Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)** **69**
Laboratoire Climat et Santé – Faculté de Médecine de Dijon
- Professeur Jean-Pierre BESANCENOT
- **Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)** **75**
Laboratoire de Météorologie Dynamique à l'Ecole Polytechnique
- M. Robert KANDEL
- **Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)** **79**
- M. Jean-François MINSTER
- **Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)** **85**
- Mme Sylvie JOUSSAUME
- **Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)** **91**
- M. Gérard MEGIE

- **Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)** **97**
Laboratoire de Géographie physique
- M. Paolo Antonio PIRAZZOLI
- **Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)** **101**
Laboratoire de Géographie physique
- Docteur Christine ROMANA
- **Commission européenne** **105**
Direction générale des relations extérieures
- M. René LERAY
- **Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM)** **109**
- Professeur Jean LUCAS
- **DATAR** **115**
- M. Jean-Louis GUIGOU
- **M. Robert DELMAS** **119**
- **Electricité de France (EDF)** **123**
- M. Bernard MECLOT
- M. Jean-Yves CANEIL
- **Energies renouvelables (Syndicat)** **127**
- M. Erik GUIGNARD
- **Fédération des entreprises de Transports
et Logistique de France (TLF) et SNCF** **299**
- M. Alexis BORDET
- M. Francis ROL-TANGUY
- **Fédération Nationale des Syndicats d'Exploitants Agricoles (FNSEA)** **131**
- M. Jean SALMON

- **Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution des Climats (GIEC)** 133
 - M. Michel PETIT
- **Institut Français de l'Environnement (IFEN)** 135
 - Conservatoire du Littoral
 - M. Jean-François LETOURNEUX
- **Institut Français de l'Environnement (IFEN)** 139
 - M. Bernard MOREL
- **Institut Français du Pétrole (IFP)** 141
 - M. André DOUAUD
- **Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER)** 147
 - M. Jean-François MINSTER
- **INESTENE - Institut d'Evaluation des Stratégies sur l'Energie et l'Environnement en Europe** 151
 - M. Antoine BONDUELLE
- **Institut National d'Agronomie de Paris-Grignon (INA P-G)** 155
 - M. Alain PERRIER
- **Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)** 161
 - M. Ghislain GOSSE
- **Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)** 163
 - M. Bertrand HERVIEU
 - M. Jean BOIFFIN
 - M. Pierre STENGEL
 - M. Ghislain GOSSE
 - M. Bernard SEGUIN

- **Institut Pasteur** **167**
 - Professeur François RODHAIN
- **Institut Pierre Simon Laplace (I.P.S.L.)** **173**
 - M. Hervé LE TREUT
- **Institut de Recherche pour le Développement (IRD)** **179**
 - M. Jacques MERLE
 - M. Rémy LOUAT
- **M. Jean-Marc JANCOVICI**, Ingénieur consultant (MANICORE) **185**
- **Mme Corinne LEPAGE**, Ancien ministre de l'environnement **193**
- **Météo France** **199**
 - M. Daniel CARIOLLE
- **Mission Interministérielle de l'Effet de Serre (M.I.E.S.)** **203**
 - M. Michel MOUSEL
 - M. Marc GILLET
- **Ministère de l'Agriculture**, Direction de l'espace rural et de la forêt **207**
 - M. Christian BARTHOD
- **Ministère de l'Agriculture**, Direction de l'espace rural et de la forêt **213**
 - M. Guy LANDMANN
- **Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement**, **217**
 - M. Yves COCHET
- **Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement**,
Direction de l'Eau **221**
 - M. Noël GODARD
- **Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, GICC** **227**
 - M. Jean-Claude ANDRÉ

- **Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement** 235
 - M. Benoît LESAFFRE
 - M. Jean-Marc SALMON
 - M. Maurice MULLER
- **Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement,
Direction des Affaires Économiques et Internationales** 241
 - M. Thierry VEXIAU
- **M. Patrice MIRAN** 247
- **Muséum national d'histoire naturelle** 251
 - M. Denis COUVET
- **Office National des Forêts (O.N.F.)** 255
 - M. Bernard GOURY
 - M. Cyril LOISEL
- **Palais de la Découverte** 261
 - M. Jean AUDOUZE
- **Ponts et Chaussées – Conseil général** 265
 - M. Jean-Pierre GIBLIN
- **PSA-Peugeot Citroën** 269
 - M. Bruno COSTES
 - M. Hervé PICHON
- **Le Quotidien du Médecin – Prix Epidaure** 275
 - Mme Florence MEHL
- **Réseau Action-Climat France (RAC France)** 277
 - M. Philippe QUIRION
 - Melle Raphaëlle GAUTHIER
- **M. Philippe ROQUEPLO** 283

- **Sécurité routière** **289**
 - M. Yves ROBICHON
 - M. Bernard GAUVIN

- **SNCF et Fédération des entreprises de Transports et Logistique de France (TLF)** **293**
 - M. Francis ROL-TANGUY
 - M. Alexis BORDET

- **Université Pierre et Marie Curie (Paris VI)** **299**
 - M. le Professeur Pierre ROGNON

- **M. Paul VERGÈS, Sénateur** **309**

- **Vivendi Environnement** **313**
 - M. Jean-Pierre TARDIEU
 - M. Michel DUTANG
 - Mme Marie-Thérèse SUART-FIORAVANTE

- **Voies Navigables de France (VNF)** **317**
 - M. François BORDRY

- **WWF – Fonds Mondial pour la Nature** **321**
 - M. Jean-Stéphane DEVISSE

ANNEXE 3 - RAPPORTS CONNEXES FIGURANT DANS LE CD-ROM N° 1 SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Académie des Sciences

« *L'effet de serre* »
(rapport n° 31 – novembre 1994)

« *Impact de la flotte aérienne sur l'environnement atmosphérique et le climat* »
(rapport n° 40 – décembre 1997)

« *Pollution atmosphérique due aux transports et santé publique* »
(rapport commun n° 12 – octobre 1999)

« *Conséquences scientifiques, juridiques et économiques du Protocole de Kyoto* »
(rapport n° 45 – novembre 2000)

Conférence des citoyens

« *Texte de la déclaration finale* » de la Conférence des citoyens organisée les 9 et 10 février 2002 à la Cité des Sciences

Conseil Economique et Social

« *Le suivi de l'effet de serre* »
Avis présenté par M. Jean GONNARD, rapporteur et Mme Frédérique RASTOLL, rapporteur pour avis (octobre 2000)

G.I.E.C.

« *Résumé pour les décideurs* » (extrait du rapport publié en octobre 2001)

Mission interministérielle de l'effet de serre

« *Memento des décideurs* » (1999)

« *Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIème siècle* » (2000)

« *Programme national de lutte contre le changement climatique* » (2000)

« *Le changement climatique et les espaces côtiers* » (2001)

« *Troisième communication nationale à la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques* » (2001)

RAC-France (Réseau Action Climat France)

« *Effet de serre et dérèglements climatiques. Risques et actions citoyennes* » SOS Climat (2000)

Revue « Sécheresse » et articles sur la désertification

Secrétariat d'Etat à l'Industrie

Note de synthèse sur le « *Télétravail* » par M. Jean-Marc JANCOVICI (MANICORE) (2001)
(Etude commandée par le Ministère des Finances)

Sénat

« *Maîtriser les émissions de gaz à effet de serre : quels instruments économiques ?* » par M. Serge LEPELTIER, Sénateur (n° 346 – mai 1999)

ANNEXE 4 - LISTE DES COLLOQUES ET CONFÉRENCES LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES AUXQUELS LE RAPPORTEUR A ASSISTÉ

JANVIER 1999

Mercredi 6 *Conférence-débat : Les négociations de Buenos Aires : Quels résultats pour le changement climatique ?*

Jeudi 21 *21^{ème} forum d'Iéna du Conseil Economique et Social : Les enjeux du marché international de l'eau*

OCTOBRE 1999

Jeudi 14 *2^{èmes} rencontres parlementaires sur l'énergie : « politique énergétique : les enjeux d'une vision globale » (Assemblée nationale)*

NOVEMBRE 1999

Jeudi 18 *Exposition « Espace et océan » au Palais de la Découverte*

AVRIL 2000

Lundi 3 *Colloque européen « Aménagement et développement durable du territoire » (Ministère de l'aménagement du territoire, Commission européenne, DATAR).*

Mardi 4 *Conférence de presse de M. Paul VERGÈS, Sénateur, sur la création d'un observatoire national sur les effets du réchauffement climatique*

MAI 2000

Mardi 2 *Colloque « Énergie et environnement au XXI^{ème} siècle : besoins, enjeux, solutions ? » (ADAPES)*

Mercredi 3 *Suite du Colloque « Énergie et environnement »*

Jeudi 11 *Conférence de presse du Sénateur Aymeri de MONTESQUIOU sur « la situation et les perspectives de l'énergie nucléaire en Europe »*

Lundi 15 *Colloque « Transport aérien et développement durable » (Assemblée nationale)*

Lundi 29 *Colloque « Energie et développement durable : la place des énergies renouvelables » organisé par le Syndicat des énergies renouvelables*

JUN 2000

Jeudi 15 *Colloque « Environnement : expertise, science et société » organisé par le CNRS, l'ADEME, l'ANVIE*

OCTOBRE 2000

Jeudi 12 *Colloque « La réforme de la loi sur l'eau : enjeux environnementaux et financiers », organisé par le Sénat*

Mardi 18 *Réunion-débat « Contrôler l'effet de serre : l'enjeu de politique publique internationale » organisée par le Centre d'études prospectives et d'informations internationales (CEPII)*

NOVEMBRE 2000

Mardi 7 *Colloque « Politique énergétique et lutte contre les changements climatiques » organisé par nouvelle UDF*

MAI 2001

Lundi 21 *Rencontre nationale de la recherche scientifique sur l'effet de serre « Contributions françaises et perspectives d'action » organisée par le Ministère de la Recherche*

JUN 2001

Mardi 12 *Colloque « Energies renouvelables et aménagement du territoire » organisé par le Syndicat des énergies renouvelables*

Mardi 19 et
Mercredi 20 *Museum national d'histoire naturelle : « 1^{er} bilan annuel du programme national de lutte contre le changement climatique »*

Mardi 26 *Réunion « Transports de voyageurs et réduction des gaz à effet de serre » organisée par l'Institut Montaigne*

ANNEXE 5 - CHRONOLOGIE DE L'ÉVOLUTION DES CONNAISSANCES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Début du XVII^{ème} siècle : invention du **thermomètre** par le Hollandais Van DREBBEL

1735 : description de la **circulation atmosphérique** par l'Anglais George HADLEY

1837 : naissance de la **paléoclimatologie** lorsque le Suisse Louis AGASSIZ émet l'hypothèse d'un âge glaciaire ayant précédé de peu notre époque.

1842 : un mathématicien français, Joseph-Alphonse ADHEMAR émet l'hypothèse que l'**âge glaciaire** était lié aux variations d'ensoleillement de la Terre.

1873 : réseau mondial de mesures météorologiques

Vers **1880** : un géographe allemand, Albrecht PÖNCK suppose que **quatre âges glaciaires** ont existé.

Vers **1890** : Svante ARRHENIUS énonce la théorie de l'**effet de serre** accru par les combustions d'énergie fossile.

Vers **1930** : Milutin MILANKOVITCH, mathématicien serbe, calcule **les variations d'ensoleillement de la Terre** au cours des derniers 600.000 ans.

Années **1950** : la corrélation entre **les âges glaciaires** observés en Amérique du Nord et en Europe est établie.

1955 : l'Américain, Cesare EMILIANI réalise les premières **analyses isotopiques des sédiments marins**. La proportion d'atomes d'oxygène de masse atomique (¹⁸C) par rapport à ceux de masse atomique (¹⁶C) dans le calcaire des coquilles fossiles permet de connaître les périodes de glaciation – la proportion d'isotopes lourds augmente au cours de celles-ci.

Après **1958** : débutent **les mesures de concentration de CO₂** dans l'atmosphère sur le mont Mauna Loa (Hawaï).

1979 : un rapport de l'Académie des sciences américaine évoque l'élévation de 2° à 3°C de la température globale de la Terre vers 2050, du fait de l'augmentation de la teneur de l'atmosphère en **gaz à effet de serre**.

A partir de **1980** : débute **le couplage des concepts océan-météo**.

Années **1980** : André BERGER de l'Université Catholique de Louvain effectue le calcul des **insolations de la Terre**, mois par mois, à toutes les latitudes pour le million d'années passées ; ces calculs pouvant être étendus aux prochaines centaines de milliers d'années.

Jusqu'en **1990**, personne ne se préoccupait vraiment de **l'émission des gaz à effet de serre**.

A partir de **1990** : **le couplage de la biologie avec les sols** débute.

1992 : mise sur orbite du satellite Topex-Poseï don (NASA- CNES) pour mesurer **le niveau des océans**.

**ANNEXE 6 – ENGAGEMENT DE L’UNION EUROPEENNE ET
DE SES ETATS-MEMBRES RELATIF A LA REDUCTION DES
EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE**

Article 4 du Protocole de Kyoto

Conclusions du Conseil du 16 juin 1998

| | | | |
|--------------------------------------|----------------|--------------------|-----------------|
| Autriche | - 13 % | Italie | - 6,5 % |
| Belgique | - 7,5 % | Luxembourg | - 28 % |
| Danemark | - 21 % | Pays-Bas | - 6 % |
| Finlande | 0 % | Portugal | + 27 % |
| France | 0 % | Espagne | + 15 % |
| Allemagne | - 21 % | Suède | + 4 % |
| Grèce | + 25 % | Royaume-Uni | - 12,5 % |
| Irlande | + 13 % | | |
| Communauté européenne : - 8 % | | | |

ANNEXE 7 - GLOSSAIRE



| | |
|----------|---|
| A | <p>Aérosol : suspension, dans un milieu gazeux, de particules solides</p> <p>Albédo : fraction du rayonnement solaire direct renvoyé par la surface des continents. Ex : 40% pour les déserts secs et ensoleillés, 80 % pour la neige fraîche</p> <p>Alizés : vents d'est soufflant sur la partie orientale du Pacifique et de l'Atlantique (entre les parallèles 30°N et 30°S)</p> <p>Atmosphère : couche d'air qui entoure le globe terrestre</p> |
| B | <p>Biomasse : masse de matière vivante, animale ou végétale, de la surface du globe terrestre</p> |
| C | <p>Circulation thermohaline (thermos : chaud; hals :sel) : mouvement des eaux de l'océan provoqué dans les régions polaires par la forte densité des eaux les plus froides et les plus salées, qui plongent de 2000 mètres à 3000 mètres sous les eaux plus chaudes et plus salées qui s'écoulent en direction de l'équateur puis remontent en se réchauffant et retournent vers les pôles sous forme de courants chauds.</p> <p>Climat : ensemble des circonstances atmosphériques et météorologiques propres à une région du globe terrestre</p> <p>Cogénération : fourniture combinée de chaleur et d'électricité</p> <p>Cryosphère : l'ensemble des glaces et des neiges présents à la surface de la Terre.</p> |
| D | <p>Dendroclimatologie : mesure de l'épaisseur des cernes qui se forment chaque année à la périphérie d'un tronc d'arbre. Des arbres vieux de plus de mille ans ont permis de retracer le climat du dernier millénaire.</p> <p>Dénitrification : décomposition, par une action bactérienne, des nitrates du sol et des eaux</p> |

| | |
|----------|--|
| E | El Niño (L'Enfant Jésus) -Oscillation australe , ENSO El Niño Southern Oscillation - : tous les trois à quatre ans, entre janvier et mars, l'anticyclone du Pacifique sud descend vers le sud-ouest ; des eaux chaudes tropicales (+1°C à +4°C par rapport à leur température habituelle) se déplacent le long de l'équateur, de l'Australie au Pérou, créant un courant ouest-est inversant le sens des alizés et provoquant des pluies torrentielles (Colombie, nord du Pérou, Equateur), des tempêtes et des sécheresses (Australie, Indonésie). Ce réchauffement des eaux entraîne la destruction du plancton et donc des poissons. |
| F | Fermentation entérique : transformation de substances organiques dans les intestins Forçage radiatif (ou du climat) : réchauffement additionnel au réchauffement naturel Force de Coriolis : déviation qui se produit dans un repère en rotation et qui a pour effet sur la Terre de dévier les vents et les courants vers la droite dans l'hémisphère Nord et vers la gauche dans l'hémisphère Sud Coriolis Gaspard : mathématicien Français (1792-1843) |
| L | La Niña : phénomène de refroidissement provoqué par le déplacement d'une masse d'eau chaude tropicale poussée par des alizés vers l'Asie et l'Australie (inondations) et provoquant de la sécheresse (Pérou). |
| M | Maillage : réduction de l'étude d'un milieu aux valeurs des nœuds d'un filet imaginaire, en deux ou trois dimensions, qui permet à un ordinateur de réaliser des calculs approchant la réalité d'un milieu continu. Mangroves : étendues vaseuses de sable sur lesquelles pousse une végétation abondante prospérant sur des eaux saumâtres |
| N | Nitrification : transformation, sous l'action des bactéries, de l'azote ammoniacal en nitrates |
| P | Permafrost : sol perpétuellement gelé des régions arctiques Phytoplancton : ensemble des organismes végétaux vivant en suspension dans l'eau de mer (algues...) Piles à combustible : pile dont les électrodes sont à gaz (oxygène et combustible tel que l'hydrogène) Polder : marais littoral endigué et asséché |

| | |
|----------|---|
| | Puits de carbone : absorption du dioxyde de carbone par un milieu naturel (océan, forêt ...) |
| R | Rétroaction (positive ou négative) : effet d'accélération d'un processus (positive) ou d'inhibition de celui-ci (négative) |
| S | Stratosphère : couche de l'atmosphère située au-dessus de la troposphère et se terminant vers 50 kilomètres d'altitude |
| T | Troposphère : couche la plus basse de l'atmosphère se terminant à une altitude de 7 à 15 kilomètres (selon la latitude) |
| Z | Zones humides : étendue semi-aquatique précieuse pour la biodiversité Zooplancton : ensemble des organismes animaux qui vivent en suspension dans l'eau de mer (protozoaires, coelentérés, crustacés à l'état de larves) |

ANNEXE 8 - SYMBOLES CHIMIQUES

| | |
|---|--|
| ADN | acide désoxynibonuclérique |
| C | carbone |
| ¹² C ¹³ C ¹⁴ C | isotope 12, isotope 13, isotope 14 du carbone |
| CF ₄ | perfluorométhane |
| CFC | chlorofluorocarbures |
| CH ₄ | méthane |
| CO | monoxyde de carbone |
| CO ₂ | dioxyde de carbone (gaz carbonique) |
| COV | composés organiques volatiles |
| DMS | sulfure de diméthyl |
| HCFC | hydrochlorofluorocarbures |
| HFC | hydrofluorocarbures |
| N | azote |
| N ₂ O | protoxyde d'azote (homioxyde d'azote ou oxyde nitreux) |
| NH ₄ | ammoniac |
| NO ₂ | dioxyde d'azote espèce azotée très active vis-à-vis de l'ozone |
| NO _x | Oxydes d'azote autres que le protoxyde espèce azotée très active vis-à-vis de l'ozone |
| O ₃ | ozone |
| PFC | perfluorocarbures (hydrocarbures perfluorés) |
| pH | potentiel hydrogène caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu |
| SF ₆ | Sulfure d'hexafluor (hexafluorure de soufre) |
| SO ₂ | Dioxyde de soufre |

UNITÉS DE MESURE

| | | | | |
|---------------------|-------------------------|------------------|------|--|
| Mte CO ₂ | | | | million de tonnes équivalent gaz carbonique |
| MW | mégawatts | 10 ⁶ | ppmv | parties par million en volume (10 ⁻⁶) |
| GW | gigawatts | 10 ⁹ | ppbv | parties par milliard en volume (10 ⁻⁹) (billion en anglais) |
| TW | terawatts | 10 ¹² | pptv | parties par billion en volume (10 ⁻¹²) (trillion en anglais) |
| W/m ² | watts par mètres carrés | | | |

ANNEXE 9 - SIGLES

| | |
|-------------|--|
| ADEME | Agence pour le développement durable et la Maîtrise de l'Energie |
| CCNUCC | Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique |
| CDI | Centre de Documentation et d'Information |
| CEA | Commissariat à l'Energie Atomique |
| CEI | Communauté des Etats Indépendants |
| CEMAGREF | Centre national du machinisme agricole, du génie rural et des eaux et forêts |
| CFR | Centre des Faibles Radioactivités |
| CIRAD | Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement |
| CLIMAP | Climate : Long range Investigation, Mapping and Prediction |
| CNES | Centre National d'Etudes Spatiales |
| CNRM | Centre National de Recherche Météorologique |
| CNRS | Centre national de la recherche scientifique |
| COP | Conférence des Parties |
| CRESPI | Centre de réflexion et d'étude sur les problèmes internationaux |
| EUROFLUX | Programme européen |
| GES | Gaz à effet de serre |
| GICC | Gestion et Impact du Changement Climatique |
| GIEC (IPCC) | Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat (IPCC en anglais) |
| IFEN | Institut Français de l'Environnement |
| IFP | Institut Français du Pétrole |
| IFREMER | Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer |
| INESTENE | Institut d'Evaluation des Stratégies sur l'Energie et l'Environnement en Europe |
| INRA | Institut National de la Recherche Agronomique |
| INSU | Institut National des Sciences de l'Univers |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change (GIEC en français) |
| IPPC | Directive européenne (1996) sur la prévention et la réduction intégrée de la pollution |
| IRD | Institut de Recherche pour le Développement |
| LMD | Laboratoire de Météorologie Dynamique |

| | |
|----------------|---|
| MATE | Ministère de l'Aménagement, du Territoire et de l'Environnement |
| MIES | Mission Interministérielle de l'Effet de Serre |
| NASA | National American Spatial Agency |
| NGGIC | Australian National Green House Gas Inventory Committee |
| OACI | Organisation de l'Aviation Civile Internationale |
| OMM | Organisation Météorologique Mondiale |
| ONF | Office National des Forêts |
| ONU | Organisation des Nations Unies |
| OPECST | Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques |
| OSIS | Organization of Small Island States |
| PCRD | Programme Cadre de Recherche et de Développement de l'Union européenne |
| PDU | Plan de Déplacements Urbains |
| PMIP | Paleoclimate Model Intercomparaison Project |
| PNAEE | Programme National d'Amélioration de l'Efficacité Energétique |
| PNLCC | Programme National de Lutte contre le Changement Climatique |
| PNUE | Programme des Nations Unies pour l'Environnement |
| PREDIT | Programme national de recherche et d'innovation sur les transports terrestres |
| SNCF | Société Nationale des Chemins de Fer |
| SRU | Solidarité et Renouvellement Urbain |
| SVT | Sciences de la Vie et de la Terre |
| TGAP | Taxe Générale sur les Activités Polluantes |
| TOPEX-POSEIDON | Satellite lancé en 1992 par le CNES et la NASA |
| TPE | Travaux Personnels Encadrés |
| TRAGNET | Réseau d'observation des cultures (Etats-Unis d'Amérique) |
| UTCF | Utilisation des Terres, ses Changements et Forêts |
| VNF | Voies Navigables de France |

ANNEXE 10 - BIBLIOGRAPHIE

(par ordre alphabétique d'auteur)

| AGRICULTURE |
|--|
| Cellule prospective et stratégie, Jean-Luc PUJOL, Dominique DRON, <i>Agriculture, monde rural et environnement : qualité oblige</i> , La documentation française – 589 p. - 1998 |
| Chambres d'agriculture, <i>Cap 2010, le Projet stratégique des chambres d'agriculture : Pour une agriculture durable</i> , Assemblée permanente des chambres d'agriculture – 15 p. |
| Conseil économique et social Régis BOUCHE, <i>L'agriculture face aux risques climatiques, Avis et rapports du Conseil économique et social</i> , Journaux Officiels - 148 p - 1998 |
| Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, <i>Bilan et gestion des gaz à effet de serre dans l'espace rural, Connaissances tirées du programme AGRIGES et des recherches menées à l'étranger. Colloque des 18 et 19 mai 1999</i> – Paris - Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement – 392 p. 1999 |
| European Parliament : Scientific and technological options assessment, STOA, <i>Consequences of climate change for agricultural production (Final study)</i> , European Parliament – 65 p. - Feb. 1999 |
| AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE |
| Assemblée nationale, Philippe DURON, <i>Rapport fait au nom de la Commission de la Production et des Échanges sur le projet de loi d'orientation pour l'aménagement et le développement durable du territoire t.I</i> -Assemblée nationale, 142 p. - 1998 |
| Assemblée nationale, Philippe DURON, <i>Rapport fait au nom de la Commission de la Production et des Échanges sur le projet de loi d'orientation pour l'aménagement et le développement durable du territoire t. II</i> , Assemblée nationale – 142 p. - 1998 |
| DATAR, <i>Aménagement du territoire et recensement de la population en 1999</i> DATAR – 23 p. - 31.12.1999 |
| Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Commission européenne, DATAR, <i>Colloque européen - Paris - 3 avril 2000, Aménagement et développement durable du territoire</i> - 2000 |

| |
|--|
| Ministère de l'équipement, des transports et du logement, Jacques THEYS, <i>Notes du Centre de Prospective et de veille scientifique, Développement durable Villes et Territoires, Innover et décroiser pour anticiper les ruptures</i> – 135 p. – 2000 |
| ASSURANCES |
| Caisse centrale de Réassurance, <i>Les catastrophes naturelles en France, Natural disasters in France</i>), CCR – 21p. - Août 1999 |
| GEMA, <i>Contributions 1999, Rapport annuel</i> , GEMA – 25 p. – 1999 |
| CLIMAT |
| Académie des Sciences, <i>L'effet de serre, Rapport n° 31</i> , TEC & DOC – 86 p. - 1994 |
| Ambassade de France en Suède, Service Scientifique et Technologique, <i>Man and Coastal Areas, Towards a Sustainable Aquaculture, Final report of the European workshop for a sustainable development of aquaculture, 28-29-30 June 1999, Kristineberg Marine Research Station, Fiskebäckkill, Sweden</i> - Jean-Marie GUASTAVINO, Laurent HOLZMAN, Leila JOHANSSON, Antoine PELOUIN, Laurent SAUNIER, Loïc VIATTE – 120 p. - 2000 |
| Atmospheric CO2 Symposium, Sophia Antipolis (December 1984), <i>Actes du Colloque</i> , Association Sophia-Antipolis – 250 p. - 1984 |
| Center for Clean Air Policy, <i>Design of a practical approach to greenhouse gas emissions trading combined with policies and measures in the EC</i> , Center for clean air policy – 70 p. - 1999 |
| Centre d'études prospectives et d'informations internationales, <i>Contrôler l'effet de serre : l'enjeu de politique publique internationale, Economie Internationale - La revue du CEPII n° 82</i> , La documentation française, 220 p. - 2000 |
| Climate Action Network (CAN), <i>Climate Action Network, International NGO Directory 1998</i> , Climate Action Network – 266 p. - 1998 |
| Commission des communautés européennes, <i>Document de travail de la Commission européenne : La politique communautaire de coopération économique et au développement face aux nouveaux défis du changement climatique</i> – 44 p. - 11.1999 |
| Commission des communautés européennes, <i>Communication au Conseil et au Parlement européen : Changement climatique - Vers une stratégie communautaire post-Kyoto</i> – 33 p. -06.1998 |
| Commission européenne, <i>La planète sous pression</i> , Office des publications officielles des communautés européennes, plaq. - 10 p - 1998 |
| Commission internationale pour la protection du Rhin, <i>Grundlagen und Strategie zum Aktionsplan Hochwasser, Koblenz, Dezember 1995</i> , Commission internationale pour la protection du Rhin – 40 p. - 1995 |
| Croisée des Sciences, Thérèse Encrenaz, <i>Atmosphères planétaires, Origine et évolution</i> , Belin - CNRS Editions – 152 p. - 2000 |
| Dutch national research programme, <i>Light on climate research, Programme on global air pollution and climate change</i> , Programme Bureau NRP, Pays-Bas – 24 p. |

| |
|---|
| ECLAT-2 Partners, <i>1998-2001-ECLAT-2, Representing uncertainty in climate change scenarios and impact studies, Proceedings of the Eclat-2 Helsinki Workshop, 14-16 april, 1999</i> - Climate Research Unit, U.E.A., (University of East Anglia), Norwich UK – 128 p. - 1999 |
| ECLAT-2 Partners, <i>1998-2001-ECLAT-2, Climate scenarios for agricultural, forest and ecosystem impact studies - Proceedings of the Eclat-2 Potsdam Workshop, 13-15 october, 1999</i> - Climate Research Unit, U.E.A., (University of East Anglia), Norwich UK – 120 p. - 1999 |
| Espaces pour demain, L'environnement : comprendre pour agir, <i>La nature en colère - Réflexions - Solutions – Perspectives</i> - Espaces pour demain - 2000 |
| European Commission, DG Environment, <i>Final Report, Designing options for implementing an emission trading regime for greenhouse gases in the EC, FIELD</i> – 53 p. - 2000 |
| European Commission, Directorate-General for Research, <i>Simulation, diagnosis and detection of the anthropogenic climate change (SIDDAKLICH) - EUR 19310</i> , Office for Official publications of the European Communities – 78 p. - 2000 |
| European Commission, Directorate-General for Research, <i>Mediterranean Desertification, Research results and policy implications, Volume 1 - Plenary session - EUR 19303</i> - Office for Official publications of the European Communities – 429 p. - 1999 |
| European Commission, Directorate-General for Research, <i>Sea level change and coastal processes, Implications for Europe, EUR 19337</i> - Office for Official publications of the European Communities – 247 p. - 2000 |
| European Commission, Directorate-General for Research, <i>Greenhouse gases and their role in climate change : the status of research in Europe, International Workshop Orvieto, Italy, 10-13 november, 1997 - EUR 19085 EN</i> , Office for Official publications of the European Communities – 116 p. - 1999 |
| European Commission, Directorate-General for Research, <i>Climate change impact on agriculture and forestry, EUR 18175 EN</i> , Office for Official publications of the European Communities – 519 p. - 1998 |
| European Commission, Research Directorate-General/DI.1, <i>Biospheric sinks in the Kyoto protocol, What tools do we need to monitor a European carbon balance ?, Executive summary of a workshop held in Wageningen, 2-3 march 1999, EUR 19316</i> - Office for Official Publications of the European Communities – 8 p. - 1999 |
| European Commission, Research Directorate-General for Science, <i>European Climate Science Conférence - Vienne - 19-23 october 1998 - CD-ROM</i> - Austrian Federal Ministry of Science and Transport – 10 p. - 2000 |
| European Commission, Directorate-General Science, Research and Development, <i>ESCOBA, A European multidisciplinary study of the global carbon cycle in ocean, atmosphere and biosphere. Synthesis report - EUR 16989 EN</i> - Office for Official Publications of the European Communities – 24 p. - 1999 |
| German Bundestag, <i>Protecting the earth's atmosphere : an international challenge</i> , Deutscher Bundestag – 592 p. - 1989 |
| Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), <i>Le changement climatique – dimensions économiques et sociales</i> , Ed. Multimondes, Dossiers et débats pour le développement durable 4D - 546 p. - 1995 |
| HUET Sylvestre, <i>Quel climat pour demain ?</i> Calmann-lévy, 240 p. – 2000 |
| Institut d'Evaluation des Stratégies sur l'Énergie et l'Environnement (France), INESTENE, <i>Campagne du WWF sur les changements climatiques : Réduction des émissions de CO2 : politiques et mesures pour la France (Etude pour la période de 1997 à 2005)</i> – WWF, Fonds mondial pour la nature, France – 107 p. - 1997 |

| |
|---|
| <p>Interdepartmental Vision for the Coast', <i>A coastal zone perspective, Preparatory study</i>, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries, Ministry of Economic Affairs, Ministry of Public Housing, Spatial Planning and the Environment - PAYS-BAS – 24 p. – 1999</p> |
| <p>Intergovernmental panel on climate change, <i>The regional impacts of climate change, An Assessment of Vulnerability</i> - Robert T. WATSON, Marufu C. ZINYOWERA, Richard H. MOSS – 518 p. – 1998</p> |
| <p>International Society of Soil science, H.P. BLUM & S.M. BERKOWICZ, <i>Arid ecosystems</i>, CATENA VERLAG GeoScience – 11 p. - 1995</p> |
| <p>LABEYRIE Jacques, <i>L'homme et le climat</i>, Points Sciences - 344 p - 1993</p> |
| <p>LORUIS Claude, <i>Glaces de l'Antarctique – Une mémoire, des passions</i>, Odile Jacob, Points, 300 p, 1993</p> |
| <p>Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement (MATE), Service de la Recherche et de la Prospective (SRP), <i>Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIe siècle, Seconde édition</i> - Mission interministérielle de l'effet de serre (MIES), Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement (MATE) – 128 p. - 2000</p> |
| <p>Ministry of the Environment, <i>Israel environment bulletin</i>, Shoshana Gabbay – 23 p. - 1999</p> |
| <p>Premier Ministre, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Mission interministérielle de l'effet de serre (MIES), <i>Conférence mondiale préparatoire sur le changement climatique, Lyon - 4/15 septembre 2000, Compte rendu de la conférence</i> - Services du Premier ministre – 55 p. -2000</p> |
| <p>Stephen H. SCHNEIDER, <i>La Terre menacée – Un laboratoire à risques</i>, Hachette Littératures – 240 p - 1999</p> |
| <p>CONFÉRENCES INTERNATIONALES</p> |
| <p>ADEME/PREMIER MINISTRE, Les mercredis de l'ADEME, <i>Les négociations de Buenos Aires : Quels résultats pour le changement climatique ?</i> ADEME/Premier Ministre – 88 p. - 6 janvier 1999</p> |
| <p>Assemblée nationale, Roland NUNGESSER, Ségolène ROYAL, <i>Rio, deux ans après : Un espoir déçu, un sursaut attendu, Commission des affaires étrangères, Rapport d'information n° 1362</i>, Assemblée nationale – 72 p.</p> |
| <p>DIPCN : Conférence de Paris, (17-19 juin 1999) - <i>Déclaration de Paris : Conclusions et recommandations de la Conférence sur « La prévention des catastrophes naturelles, la gestion de territoires et le développement durable »</i> - Ministère Aménagement du territoire et de l'environnement – 4 p - juin 1999</p> |
| <p>Nations Unies : <i>Convention-cadre sur les changements climatiques : Report of the conference of the parties on its fifth session, held at Bonn from 25 October to 5 November 1999</i>, United nations – Secretariat – 65 p. - 1999</p> |
| <p>Nations Unies : Conférence sur l'environnement et le développement, <i>Action 21, Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement, Déclaration de principes relatifs aux forêts</i>, Nations Unies – 256 p. - 1993</p> |
| <p>Sénat, Xavier PINTAT (Commission des affaires étrangères), <i>Le protocole de Kyoto</i>, Le Sénat – 36 p. – 2000</p> |

| EAU |
|---|
| Académie des sciences et Académie des sciences morales et politiques – Rapport n° 45 - <i>Conséquences scientifiques, juridiques et économiques du Protocole de Kyoto</i> – TEC & DOC - 76 p. - novembre 2000 |
| Agence de l'eau Artois-Picardie, <i>L'Observatoire du prix des services de l'eau et de l'Assainissement</i> , J.P. DUPLAN – 7 p. - 1998 |
| Agence de l'eau Loire-Bretagne, <i>VIIe programme - 1997 – 2001, L'alimentation en eau potable - Les aides financières de l'agence de l'eau</i> - Agence de l'eau Loire-Bretagne – 4 p. - 1997 |
| Après-demain, n° 408-409, <i>Eau et développement durable</i> - Après-demain - nov-déc - 1998 |
| Assemblée nationale, Philippe MATHOT, Thierry MARIANI, <i>Inondations :- une réflexion pour demain, Commission d'enquête, Rapport n° 1641</i> , Assemblée nationale – 338 p. - 1994 |
| Roselyne BACHELOT, députée du Maine-et-Loire, <i>1ères Assises de l'eau, Pays de la Loire : Région pilote dans la gestion de l'eau</i> , 25 novembre 1999, M&M Conseil – 158 p. - 2000 |
| J. BEBIN, J. BUSTARRET, P. FAISANDIER, F. VALIRON, <i>La politique de l'eau en France - De 1945 à nos jours</i> , Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées – 149 p. - 1990 |
| Cercle Français de l'Eau, Dossier de presse : <i>Comment gagner la bataille de la qualité de l'eau potable ?</i> Colloque du 25 juin 1998 - Palais du Luxembourg, Cercle Français de l'Eau – 44 p - 1998 |
| Chambres d'agriculture : Assemblée permanente, <i>La réforme de la politique de l'eau : position de l'APCA - APCA-SDPAR</i> – 20 p. - juin 2000 |
| Commission européenne, Coll. Que fait l'Europe ? <i>L'eau, une ressource vitale en danger</i> , Publications officielles des Communautés européennes – 10 p.- |
| C.I.EAU, Centre d'Information sur l'eau, <i>La qualité de l'eau du robinet</i> , C.I.EAU – 22 p. - 1996 |
| C.I.EAU, Centre d'Information sur l'eau, <i>L'assainissement des eaux usées</i> - C.I.EAU – 23 p. - 1997 |
| C.I.EAU, Centre d'Information sur l'eau, <i>Le prix du service de l'eau</i> - C.I.EAU – 13 p. - 1998 |
| Comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques, <i>Les zones humides, Rapport de l'instance d'évaluation, Premier ministre - Commissariat général du Plan</i> , La documentation Française – 391 p. - 1994 |
| Commissariat général du plan, <i>Rapport au Gouvernement 1997, Evaluation du dispositif des Agences de l'eau</i> , La Documentation Française – 215 p. - 1997 |
| Commissariat général du plan, <i>Evaluation du dispositif des agences de l'eau</i> , La Documentation Française – 26 p. - 1997 |
| Compagnie Générale des Eaux, <i>Chiffres clés, Environnement Construction Communication</i> , Compagnie Générale des Eaux – 35 p. - 1997 |
| Conseil économique et social (CES), <i>Economie et prospective de l'eau dans le bassin euro-méditerranéen, Contribution du CES au troisième sommet euro-méditerranéen des Conseils économiques et sociaux (Marrakech 27 et 28 novembre 1997)</i> , Journaux Officiels – 107 p. - 1997 |
| Conseil économique et social, <i>21ème Forum d'Iéna : « Les enjeux du marché international de l'eau »</i> , Conseil économique et social - Dossier du forum, 1999 |

| |
|--|
| Conseil économique et social, René BOUË, Francis VENDEWEEGHE, Claude MIQUEU - <i>La réforme de la politique de l'eau</i> , Journaux officiels – 172 p. - 2000 |
| Conseil économique et social de Picardie, Denis DUBOIS, <i>Protection de l'environnement : le devenir des boues, Annexes et contributions, Avis, Contribution de l'ADEME – CES – 53 p. – 25 p., 10 p., 12 p.</i> - 1998 |
| CRESPI (Centre de Réflexion et d'Etude sur les Problèmes Internationaux), <i>Le Moyen-Orient et l'eau (André DULAIT et François THUAL)</i> , CRESPI – 87 p. - 2000 |
| Délégation pour l'Union européenne, Béatrice MARRE, <i>L'Europe de l'eau : une nouvelle approche, Rapport d'information n° 739</i> , Assemblée nationale – 64 p. - 1998 |
| L'Ecole française de l'eau, N° 2 : <i>Surveillance, rénovation et renouvellement du patrimoine français de l'eau - La politique de l'eau au Sénat</i> , Union des industries et entreprises de l'eau et de l'environnement – 83 p. - Oct. 1998 |
| L'Ecole française de l'eau, N° 4 : <i>la politique gouvernementale de l'eau, Les dossiers des industriels et entrepreneurs du cycle de l'eau</i> , Union des industries et entreprises de l'eau et de l'environnement – 84 p. - 1999 |
| L'Ecole française de l'eau, French water, <i>Les dossiers des industriels et entrepreneurs du cycle de l'eau : Surveillance, rénovation et renouvellement du patrimoine français de l'eau</i> , Union des industries et entreprises de l'eau et de l'environnement (U.I.E.) – 83 p. - 1998 |
| Ecole Française de l'Eau, N° 4, <i>Articles divers, Préface de Jacques CHIRAC</i> , Union des industries et entreprises de l'eau et de l'environnement – 82 p. - Oct. 2000 |
| ENA (Ecole Nationale d'Administration), <i>ENA Mensuel N° 284 - Dossier : l'eau - Association des Anciens élèves de l'Ecole Nationale d'Administration</i> – 56 p. - 1998 |
| Ecole Nationale des Ponts & Chaussées, <i>Gestion des eaux : coût et prix de l'alimentation en eu et de l'assainissement - Presses de l'Ecole nationale des Ponts & Chaussées</i> – 487 p. - 1991 |
| Générale des Eaux, <i>Eau</i> , Générale des Eaux – 10 p. - |
| Groupe de travail pour la prévention des inondations dans le bassin de la Meuse (GTIM), <i>Plan d'Action Inondations Meuse</i> , Francis HAMBYE – 60 p. - 1998 |
| Ambroise GUELLEC, <i>Le prix de l'eau : de l'explosion à la maîtrise, Commission de la production, Rapport d'information n° 2342</i> , Assemblée nationale – 85 p. - 1995 |
| Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement, <i>Bilan de la loi « littoral »</i> , Ministère de l'Equipement – 93 p. - 1999 |
| Mission Interministérielle de l'Effet de Serre, avec le concours de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur et de la DATAR. <i>Actes du Colloque « Le changement climatique et les espaces côtiers » - « L'élévation du niveau de la mer : risques et réponses »</i> - 98 p. –septembre 2001 |
| Le Moniteur, Cahier de l'environnement, <i>Eau potable - La bataille de la qualité</i> , Groupe Moniteur – 46 p. - juin 1998 |
| Le Moniteur, <i>L'eau et les collectivités locales</i> , Editions du Moniteur – 332 p. - 1991 |
| Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, Jean FAURE, Richard POUILLE, <i>Rapport sur la préservation de la qualité de l'eau : Distribution de l'eau potable et traitement des eaux résiduaires</i> – Sénat – 254 p. - 1991 |

| |
|---|
| Parlement néerlandais, Ministère du Logement, de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère des Transports, des Travaux Publics et de la Gestion des Eaux, <i>Loi sur la protection contre les eaux (21 décembre 1995)</i> , Directive «plus d'espace pour les fleuves» (avril 1997), Journal Officiel du Royaume des Pays-Bas, Ministère des Transports, des Travaux Publics et de la Gestion des Eaux, Direction Générale des Travaux Publics et de la Gestion des Eaux |
| Réseau National des Données sur l'Eau (RNDE), <i>Débits des cours d'eau, 10 ans d'observation, 1984-1993</i> , Synthèse sur 200 stations de mesures en France, RNDE – 186 p. - 1994 |
| Réseau National des Données sur l'Eau (RNDE), <i>Qualité des cours d'eau, 10 ans d'observation - 1984 - 1993</i> , Synthèse sur 150 stations de mesures en France, RNDE – 150 p. 1994 |
| Revue Française de géoéconomie, N° 4 - Hiver 1997-1998, Dossier : <i>De l'eau pour demain - Stratégies, conflits et coopération</i> , Economica – 210 p. - 1998 |
| Sénat, Marcel DENEUX, Pierre MARTIN, <i>Inondations dans la Somme : des leçons pour l'avenir</i> , rapport de la Commission d'enquête sur les inondations de la Somme, n° 34 – 608 p. - 2001 |
| Science et vie, <i>Menaces sur l'eau, Comment éviter une crise mondiale</i> , Sciences et vie, hors série n° 211 - Science et vie – 162 p. - 2000 |
| Science et changements planétaires, Sécheresse - volume 11- Dossier : <i>Eau et gestion de l'eau</i> - décembre 2000 |
| Sénat, Jean FRANÇOIS-PONCET, Jacques OUDIN, <i>rapport sur la réforme de la loi sur l'eau : enjeux environnementaux et financiers</i> - Compocenter Elysées – 86 p. - 2000 |
| Suez Lyonnaise des eaux, <i>Alternative solutions for water supply and sanitation in areas with limited financial resources</i> , Lyonnaise des eaux – 161 p. - 1998 |
| Valeurs vertes, <i>Eau potable : Les conquérants de la qualité</i> , Générale des Eaux – 7 p. - 1998 |
| Water Kader, Ministère des Transports, des Travaux publics et de la Gestion des Eaux (Pays-Bas), <i>Quatrième document national sur l'aménagement et la gestion des eaux, Décision gouvernementale (version abrégée)</i> – 71 p. – 1998 |
| EFFET DE SERRE |
| Conseil Economique et Social, Jean-Pierre CLAPIN, <i>Effet de serre et prospective industrielle française</i> , Journaux Officiels – 53 p. - 1997 |
| Conseil économique et social, Jean-Pierre CLAPIN, <i>Séance des 14 et 15 octobre 1997 : « Effet de serre et prospective industrielle française »</i> , Journal officiel – 52 p - 1997 |
| Conseil économique et social, Jean GONNARD, Frédérique RASTOLL, <i>Le suivi de l'effet de serre</i> , Journal officiel – 93 p. - 2000 |
| DATAR – Territoires 2020 – Revue d'études et de prospective n° 4 – 124 p. – 2° semestre 2001 |
| DUPLESSY Jean-Claude – MOREL Pierre, <i>Gros temps sur la planète</i> , Poches, Odile Jacob – 340 p |
| IFEN - <i>Contribution à l'étude des gaz à effet de serre, Rapport présenté à la Commission des comptes et de l'économie de l'environnement du 5 janvier 2000</i> , IFEN – 60 p. - 2000 |

| |
|--|
| Serge LEPELTIER, Délégation du Sénat pour la planification, <i>Maîtriser les émissions de gaz à effet de serre : Quels instruments économiques</i> - Coll. Les rapports du Sénat (N° 346), Sénat – 140 p. - 1999 |
| Hervé LE TREUT et Jean-Marc JANCOVICI - <i>L'effet de Serre – Allons-nous changer le climat ?</i> Dominos Flammarion – 127 p - 2001 |
| François PLOYE – <i>L'effet de serre – Science ou religion du XXIème siècle ? Témoins – Naturellement</i> – 181 p. 2000 |
| Réseau Action Climat France (RAC-F) – <i>Effet de Serre et dérèglements climatiques</i> – 18 p – février 2000 |
| ENERGIE |
| Assemblée nationale, Michel DESTOT (Rapporteur spécial du budget de l'Industrie), <i>Deuxièmes rencontres parlementaires sur l'énergie - Politique énergétique : les enjeux d'une vision globale</i> , Actes du Colloque, M & M Conseil – 146 p. - 1999 |
| Bernard BARBIER, Ladislav PONIATOWSKI, <i>Energie et effet de serre</i> , M & M Conseil – 159 p. - 1996 |
| Commissariat à l'énergie atomique, Christian NgÔ, <i>Quelles énergies pour demain ?</i> CEA – 15 p. |
| Commissariat Général du Plan, <i>Energie 2010-2020 : Les chemins d'une croissance sobre</i> , La documentation française – 533 p. - 1998 |
| Communautés européennes, Coll. « Que fait l'Europe ? », <i>Energies douces, énergies d'avenir</i> , Office des publications officielles des communautés européennes – 10 p. |
| Conseil économique et social, <i>Les perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2010-2020</i> , Journal officiel – 92 p. - 1999 |
| Michel DESTOT, <i>Les défis internationaux de la politique énergétique française</i> , Assemblée nationale – 200 p. -1998 |
| Direction générale de l'énergie et des matières premières, <i>L'énergie nucléaire en 110 questions</i> , Editions de l'Industrie, Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie – 212 p. - 1999 |
| Institut d'Evaluation des Stratégies sur l'Energie et l'Environnement (INESTENE), pour la MIES, <i>Chauffage bois et émissions du secteur électrique en France, Résumé d'étude</i> , Institut d'Evaluation des Stratégies sur l'Energie et l'Environnement (INESTENE) – 20 p. - 1999 |
| Rapport au Premier ministre – <i>Stratégie et moyens de développement de l'efficacité énergétique et des sources d'énergie renouvelables en France</i> , Yves COCHET – La documentation Française –184 p. - 2000 |
| Sénat - Délégation pour l'Union européenne, Aymeri de MONTESQUIOU, <i>L'énergie nucléaire en Europe : Union ou confusion ?</i> Sénat – 182 p. –2000 |
| ENVIRONNEMENT |
| Assemblée nationale/Sénat, <i>E 1414 : Livre blanc sur la responsabilité environnementale</i> , Journal officiel – 33 p. - 2000 |
| Colloque ADEME-CNRS-ANVIE-EE, <i>Environnement : expertise, science et société</i> , Actes du Colloque – 50 p. - 2000 |

| |
|--|
| Conseil Economique et Social, <i>L'environnement</i> – 6 p. - 1999 |
| Conseil Economique et Social, Jean BILLET, <i>Croissance et environnement</i> , Journaux Officiels – 174 p. - 1998 |
| Institut français de l'environnement (IFEN), <i>L'environnement en France</i> , Editions La Decouverte – 480 p. - 1999 |
| Ministry of Environment, State of Israel, <i>The environment in Israel</i> – 380 p. - 1998 |
| Institut français de l'environnement (IFEN), <i>Chiffres-clés de l'environnement</i> – 22 p. - 1999 |
| Rapport au Premier ministre, Laurence TUBIANA (Collection des Rapports officiels), <i>Environnement et développement : L'enjeu pour la France</i> , La documentation française – 170 p. – 1997 |
| EXPERTISE |
| Association Française des Entreprises pour l'Environnement, Actes du colloque « <i>Environnement : expertise, science et société</i> » du 15 juin 2000 – 104 p |
| Philippe ROQUEPLO, <i>Climats sous surveillance - Limites et conditions de l'expertise scientifique</i> – 402 p – Economica – 1993 |
| Philippe ROQUEPLO, <i>Entre savoir et décision, l'expertise scientifique</i> - 112 p - avril 1996 - INRA Editions |
| FISCALITE |
| Nicole BRICQ, <i>Pour un développement durable : une fiscalité au service de l'environnement</i> , Rapport d'information n°1000, Assemblée nationale – 177 p. - 1998 |
| Dominique BUREAU, Olivier GODARD, Jean-Charles HOURCADE, Claude HENRY, Alain LIPIETZ, <i>Fiscalité de l'environnement</i> , Conseil d'Analyse économique, La documentation Française – 197 p. - 1997 |
| Ministère de l'Economie et de l'Environnement, <i>Livre blanc sur les modalités de l'extension de la taxe générale sur les activités polluantes aux consommations intermédiaires d'énergie des entreprises</i> – 40 p. - 1999 |
| Jean FRANÇOIS-PONCET, Jacques OUDIN, <i>Compte rendu du colloque du 20 octobre 1998 : La taxe générale sur les activités polluantes : Une remise en cause radicale de la politique de l'eau ?</i> Coll. Les rapports du Sénat (N° 112) – Sénat – 118 p. – 1999 |
| FLORE |
| Commission européenne - Commission économique pour l'Europe des nations unies, Institut national de la recherche forestière, <i>Programme de l'Union européenne sur la protection des forêts contre la pollution atmosphérique : Etat des forêts en Europe - Rapport de synthèse 1999</i> – 35 p. - 1999 |
| European Forest Institute (EFI), <i>Causes and Consequences of Accelerating Tree Growth in Europe</i> EFI Proceedings n° 27, International Seminar held in Nancy, France, 14-16 may 1998, T. KARJALAINEN, H. SPIECKER, O. LAROUSSINIE – 285 p. - 1999 |

| |
|---|
| Greenpeace, Ove HOEGH-GULDBERG (University of Sydney), <i>Climate change coral bleaching and the future of the world's coral reefs</i> – 26 p. - 1999 |
| Office National des Forêts, Frédéric MORTIER, <i>Le CO2 et la forêt, Bulletin technique n° 29</i> – 160 p. - 1995 |
| Rapport au Premier ministre, Jean-Louis BIANCO (Coll. des rapports officiels), <i>La forêt : une chance pour la France</i> , La documentation française – 138 p. – 1998 |
| OZONE |
| Académie des Sciences, <i>Ozone et propriétés oxydantes de la troposphère, Essai d'évaluation scientifique, Rapport n° 30</i> , TEC & DOC – 262 p. - 1993 |
| CNRS-INSU, <i>Pollution atmosphérique aux échelles locale et régionale</i> – 76 p. - 1999 |
| Commission des Communautés européennes, <i>Proposition de règlement (CE) du Conseil, présentée par la Commission, relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone</i> , Publications officielles des communautés européennes – 74 p. - 1998 |
| Gouvernement : Texte soumis en application de l'article 88-4 de la Constitution à l'Assemblée nationale et au Sénat, <i>Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil fixant des plafonds d'émission nationaux pour certains polluants atmosphériques</i> – 130 p. - 06.1999 – <i>Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil relative à l'ozone dans l'air ambiant</i> |
| Gouvernement : Texte soumis en application de l'article 88-4 de la Constitution à l'Assemblée nationale et au Sénat, <i>Proposition de règlement du Parlement européen et du Conseil modifiant le règlement relatif aux substances qui appauvrissent la couche d'ozone en ce qui concerne l'année de base pour l'attribution des quotas d'hydrochlorofluorocarbures (E 1516)</i> – 6 p. - 08.2000 |
| Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Robert GALLEY, Louis PERREIN, <i>Les effets des chlorofluorocarbones sur l'environnement et les moyens de supprimer ou de limiter leurs émissions</i> , Assemblée nationale – Sénat – 425 p. - 1990 |
| Parlement européen, (Commission de l'environnement, de la santé publique et de la protection des consommateurs), <i>Document de séance : Rapport sur la proposition de règlement (CE) du Conseil relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone</i> – 18 p. – 1998 |
| POLLUTION |
| Assemblée nationale, Annette PEULVAST-BERGEAL, <i>Villes : un air trompeur ?</i> 184 p. - 2001 |
| CNRS-INSU, <i>Pollution atmosphérique aux échelles locale et régionale : Colloque du 16 mars 1999</i> – 76 p. – 1999 |

| |
|--|
| RECHERCHE |
| Commission européenne, <i>Vers un espace européen de la recherche, Communication de la Commission au Conseil, au Parlement européen, au Comité économique et social et au Comité des régions, Office des publications officielles des Communautés européennes</i> – 46 p. - 2000 |
| Commission des communautés européennes, <i>Réalisation de l'« espace européen de la recherche » : orientations pour les actions de l'Union dans le domaine de la recherche (2002-2006), Communication de la Commission au Conseil, au Parlement européen, au Comité économique et social et au Comité des régions</i> – 23 p. - 2000 |
| UNESCO, <i>Rapport mondial sur la science 1998</i> , Elsevier – 300 p. – 1998 |
| University of Haifa, <i>Research centers</i> , Research Authority – 45 p. – 1997 |
| RISQUES NATURELS |
| Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Christian KERT, <i>Les techniques de prévision et de prévention des risques naturels en France</i> , Assemblée nationale-Sénat – 420 p. – 1999 |
| SANTÉ |
| Académie des Sciences, Conseil pour les Applications de l'Académie des Sciences (CADAS), <i>Pollution atmosphérique due aux transports et santé publique, Rapport commun n° 12</i> , Editions TEC & DOC – 196 p. - 1999 |
| Jean-Pierre BESANCENOT, <i>Climat et Santé</i> , PUF, Médecine et société - 128 p.-octobre 2001 |
| Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Jean-François MATTEI, <i>Les liens entre la santé et l'environnement, notamment chez l'enfant, Tome I : Conclusions du rapporteur, Tome II : Contributions des membres du groupe de travail</i> - Assemblée nationale – Sénat – 272 p/255 p. – 1996 |
| TRANSPORTS |
| Air Transport Action Group, <i>Aviation and the environment</i> – 24 p. - 1999 |
| Association of European Airlines, <i>Réchauffement de la planète et contribution du transport aérien</i> – 35 p. - 2000 |
| Jacques BERNOT, Jacques ROCCA SERRA, Marc SCHREIBER, <i>Canal Rhin-Rhône</i> , Economica – 222 p. - 1997 |
| CCFA, <i>Gaz carbonique et effet de serre : l'automobile citoyenne</i> – 12 p. - 1999 |
| Communautés Européennes, Coll. « Que fait l'Europe ? », <i>Sortir la route de l'impasse</i> , Office des Publications officielles des Communautés européennes – 10 p. |

| |
|--|
| Fédération européenne pour le transport et l'environnement (T&E) - <i>Vers des ciels dégagés - La nécessité d'une écotaxe européenne comme mesure pour un développement durable de l'aviation</i> - European Federation for Transport and Environment (T&E) - PAYS-BAS – 4 p. - 1999 ? |
| Fédération européenne pour le transport et l'environnement (T&E) – Belgique, <i>Calculer les kilomètres - et les payer. Comment introduire une taxe kilométrique en U.E. ?</i> 4 p. - 2000 |
| Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, <i>Les transports en 1999 : 37e rapport de la commission des comptes des transports de la nation</i> , INSEE – 257 p. - 2000 |
| Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Pierre LAFFITTE, <i>Rapport sur l'intérêt du véhicule électrique au regard de la protection de l'environnement (n° 680 AN- 70 Sénat)</i> , Assemblée nationale – Sénat – 150 p. - 1993 |
| PSA Peugeot-Citroën, <i>Environnement et automobile - Rapport 1999</i> – 135 p. – 1999 |
| URBANISME |
| Assemblée nationale, 2èmes Rencontres parlementaires sur la ville, Pierre BOURGUIGNON, <i>Actes du colloque de mars 2000 : « Pour une renaissance de la ville »</i> , M & M Conseil – 143 p. - 2000 |
| Les Rapports du Sénat , (n° 18), Pierre HÉRISSON Louis ALTHAPÉ, <i>La réforme du droit de l'urbanisme à mi-parcours : Actes du colloque sur la modernisation du droit de l'urbanisme</i> – 56 p. - 10.2000 |

ANNEXE 11 - QUELQUES SITES INTERNET CONTENANT DES INFORMATIONS SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

I – ASSEMBLÉES ET MINISTÈRES FRANÇAIS

- Assemblée nationale
Site : <http://www.assemblee-nationale.fr>
- Conseil économique et social
Site : <http://www.conseil-economique-et-social.fr>
- Délégation à l'aménagement du territoire et à l'action régionale (DATAR)
Site : <http://www.datar.gouv.fr/>
- Ministère de l'Agriculture et de la pêche
Site : <http://www.agriculture.gouv.fr>
- Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'environnement
Site : <http://www.environnement.gouv.fr>
- Ministère de l'Équipement, des transports et du logement
Site : <http://www.equipement.gouv.fr/>
- Ministère de la Recherche
Site : <http://www.recherche.gouv.fr>
- Mission interministérielle de l'effet de serre (M.I.E.S.)
Site : <http://www.effet-de-serre.gouv.fr>
- Sénat
Site : <http://www.senat.fr>
- Mise à jour des rapports publiés par l'OPECST, sur le site du Sénat :
Site : <http://www.senat.fr/opecest/rapports.html>

II - INSTITUTIONS EUROPÉENNES

- Commission européenne – DG XII – Science, recherche et développement
Site : <http://www.europa.eu.int/comm/dg12>
- Commission européenne - Direction Générale de l'Environnement
Site : http://europa.eu.int/comm/environment/index_fr.htm
- Commission Européenne - site Recherche
Site : http://europa.eu.int/comm/research/index_fr.html
- Communauté européenne - Institut de l'environnement (JRC)
Site : <http://www.ei.jrc.it>
- Conseil de l'Europe - Site sur l' Environnement et l'Aménagement du territoire
Site : <http://www.nature.coe.int>

III - INSTITUTIONS ETRANGÈRES ET INTERNATIONALES

- Centre International sur l'Eau et l'Hygiène (IRC)
Site : <http://www.irc.nl/lgfr/index.html>
- Conseil Mondial de l'eau (CME)
Site : http://www.worldwatercouncil.org/activities_events.htm
- Convention de lutte contre la désertification des Nations Unies (UNCCD)
Site : <http://www.unccd.ch>
- Gouvernement belge - le changement climatique
Site : http://www.environment.fgov.be/Root/tasks/atmosphere/klim/set_fr.htm
- Gouvernement canadien - le changement climatique
Site : <http://www.climatechange.gc.ca/french/>
- Groupement Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC)
Site : <http://www.ipcc.ch>
- Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF)
Site : <http://www.iepf.org/>
- Institut des Ressources naturelles Mondiales
Site : <http://www.wri.org>

- Observatoire Mondial des Forêts (OMF)
Site : <http://www.globalforestwatch.org/french/>
- Observatoire du Sahara et du Sahel
Site : http://www2.unesco.org/oss1/v_fr/presentation.htm
- Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture (UNESCO)
Site : <http://www.unesco.org/general/fre/>
- Programme des Nations Unies pour l'environnement (UNEP)
Site : <http://www.unep.org>
- UNESCO - Programme hydrologique International
Site : http://www.unesco.org/water/ihp/index_fr.shtml
- UNESCO - Commission océanographique intergouvernementale
Site : <http://www.unesco.org/ioc>
- Union pour la Protection de la Planète
Site : <http://iucn.org>

IV - ETABLISSEMENTS ET ORGANISMES PUBLICS FRANCAIS

- Académie des sciences
Site : <http://www.academie-sciences.fr/>
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME)
Site : <http://www.ademe.fr>
- Agences de l'Eau
Site : <http://www.eaufrance.tm.fr>
- Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM)
Site : <http://www.brgm.fr>
- Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement (CIRED) -
Site : <http://www.cired.fr/home/home.htm>
- Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)
Site : <http://www.cnrs.fr/>

- Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)
Site : http://www.cnes.fr/index_v3.htm
Site MERCATOR : <http://www.mercator.com.fr/>
- Centre de Recherche sur l'Environnement et l'Aménagement (CRENAM)
Site : <http://www.univ-st-etienne.fr/crenam/>
- Cité des sciences et de l'industrie
Site : <http://www.cite-sciences>
- Comité de Liaison Energies Renouvelables (CLER)
Site : <http://www.cler.org>
- Fédération Nationale des Conseils d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnement (FNCAUE)
Site : <http://www.fncaue.asso.fr>
- Institut Français de l'Environnement (IFEN)
Site : <http://www.ifen.fr>
- Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER)
Site : <http://www.ifremer.fr>
- Institut Français pour la Recherche et la Technologie Polaire (IFRTP)
Site : <http://www.ifremer.fr/ifrtp>
- Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS)
Site : <http://www.ineris.fr>
- Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)
Site : <http://www.inra.fr/index.html>
- Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM)
Site : <http://www.inserm.fr/>
- Institut National des Sciences de l'Univers (INSU)
Site : <http://www.insu.cnrs-dir.fr>
- Institut de Recherche pour le Développement (IRD)
Site : <http://www.ird.fr>
- Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement (CEMAGREF)
Site : <http://www.cemagref.fr>

- Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement

Site : <http://www-lsce.cea.fr/>

- Office National des Forêts (ONF)

Site : <http://www.onf.fr>

V - ASSOCIATIONS, CENTRES, CERCLES, FONDATIONS, INSTITUTS, SYNDICATS...

- Agence méditerranéenne de l'environnement (AME)

Site : <http://www.ame-lr.org/>

- Association Internationale de Lutte contre l'Effet de Serre (AILES)

Site : <http://www.ailes.com/index.html>

- Centre d'Etudes Prospectives et d'Informations Internationales (CEPII)

Site : <http://www.cepii.fr>

- Environnement Canada - le changement climatique

Site : http://www.ec.gc.ca/extreme/index_f.htm

- Entreprises Pour l'Environnement (E.P.E.)

Site : <http://www.epe.asso.fr>

- Fonds Mondial pour la Nature (WWF)

Site : <http://www.panda.org>

- Institut Max Planck pour la météorologie (Hambourg, Allemagne)

Site : <http://www.mpimet.mpg.de>

- Inventaire Forestier National (IFN)

Site : <http://www.ifn.fr/pages/index-fr.html>

- Jean-Marc JANCOVICI (consultant)

Site : <http://www.manicore.com>

- Office International de l'Eau

Site : <http://www.oieau.fr/index.htm>

- Presses Universitaires de Cambridge

Site : <http://www.cup.org>

- Réseau Action Climat France (RAC-FR)
Site : <http://www.rac-f.org>
- Ressources naturelles Canada - le changement climatique
Site : <http://climatechange.nrcan.gc.ca/francais/index.asp>
- Syndicat des Energies Renouvelables
Site : <http://www.ser.ipseo.com>

VI – ENTREPRISES

- Comité des Constructeurs Français d'Automobiles (C.C.F.A.)
Site : <http://www.ccfa.fr>
- PSA Peugeot-Citroën
Sites : <http://www.psa.peugeot.citroën.com>
<http://www.psa.fr>

VII – PÉRIODIQUES SCIENTIFIQUES, REVUES

- Association Des Amis de Passages (ADAPES – association des Amis de la revue Passages)
Site : <http://www.club-internet.fr/perso/passages>
- « La recherche »
Site : <http://www.larecherche.fr>
- « Nature »
Site : <http://www.nature.com>
- « Pour la Science »
Site : <http://www.pourlascience.com>

VIII - CENTRES DE RESSOURCES

- Liste de bases de données sur l'eau
Site : <http://www.nal.usda.gov/wqic/dbases.html>
- Portail de sites sur l'eau
Site : <http://www.uswaternews.com/links.html>

Sans l'effet de serre naturel, la Terre serait bien moins accueillante. Mais ce phénomène bienfaisant, qui favorise la vie, se double désormais d'un effet de serre artificiel provoqué par l'homme. Depuis quelques années, la communauté scientifique délivre avec une fermeté grandissante un message inquiétant : à force d'émettre dans l'atmosphère des gaz dits « à effet de serre », résultant notamment de la combustion des énergies fossiles, l'homme ne serait-il pas devenu un agent climatique ?

Une telle mutation aurait des impacts sur les hommes, sur la biodiversité et sur les territoires. Mais comment remettre en question le recours croissant aux combustibles fossiles ou encore l'agriculture intensive au moment même où la planète va se trouver peuplée d'un nombre inégalé d'êtres humains ? N'est-ce pas saper les fondements mêmes de la civilisation industrielle ? D'autres choix sont-ils possibles ? Comment permettraient-ils d'atteindre les horizons 2025, 2050 et 2100 ?

Après avoir contribué, en un siècle et demi seulement, à dérégler la climatisation du vaisseau spatial Terre, l'homme sera-t-il à même de réparer les conséquences de ses excès passés et actuels et de réorienter son action ? En est-il encore temps ? Les relations Nord-Sud, comme le sort des générations futures, en dépendent.

Compte tenu du caractère planétaire du problème posé à chacun, l'OPECST a voulu donner au lecteur du présent rapport les moyens de se forger lui-même son opinion, en joignant à cette étude un Cd-rom sur les changements climatiques.

Outre le rapport du sénateur Marcel DENEUX, ce Cd-rom comporte une vingtaine de rapports ou d'articles connexes émanant des sources les plus autorisées (Académie des Sciences, Mission Interministérielle de l'Effet de Serre...), sans omettre d'indiquer des sites Internet permettant d'accéder à d'autres connaissances sur les changements climatiques, l'effet de serre et l'avenir de la Planète Bleue.