

L'environnement futur en Europe de l'est et de l'ouest: Conséquences de divers scénarios de développement

par

*W.M. Stigliani, F.M. Brouwer, R.E. Munn,
R.W. Shaw et M. Antonovsky*

*Institut international pour l'analyse des systèmes
A-2361 Laxenburg, Autriche*

RR-89-05

Septembre 1989

Recherche réalisée avec le concours du Groupe de Prospective,
Ministère français de l'Environnement et du
Ministère de l'Environnement des Pays Bas

Avant-propos

L'achèvement en 1987 du rapport de la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement (plus connu également sous le nom de Rapport de la Commission Brundtland) et l'attention mondiale que cette étude a suscitée par la suite ont largement popularisé l'idée d'un *développement axé sur un environnement durable*. À l'heure actuelle, on admet couramment que le développement économique et la stabilité écologique ne sont pas des objectifs contradictoires, bien au contraire. En effet, autant la croissance économique d'un pays ne peut se faire à long terme lorsque son environnement se dégrade irrémédiablement, autant le pays ne pourra réparer les dommages sérieux subis par son environnement s'il ne peut d'abord développer sa propre économie. De fait, la "notion de développement soutenable" a surtout été évoquée à propos des pays en développement d'Amérique latine, d'Afrique et d'Asie et cela est amplement justifié lorsqu'on sait à quel point les populations de ces régions sont dans une situation désespérée. Mais elle s'applique aussi à l'Europe.

L'étude de l'Europe entreprise par l'IIASA en 1985 comportait au départ deux objectifs. Le premier était d'ordre méthodologique. À notre avis, s'il était effectivement possible de réaliser une analyse prospective des problèmes écologiques que l'Europe connaîtrait dans les 40 prochaines années, la même chose pourrait sans doute se faire pour les continents économiquement moins développés. Cette "expérience" européenne semble avoir porté fruit et, pour cette raison, nous appuyons fortement toute entreprise du même genre, ailleurs dans le monde, qui viserait à étudier des scénarios écologiques possibles.

Le second objectif était beaucoup plus substantiel. Il s'agissait de savoir si nous pouvions aujourd'hui tirer des conclusions opérationnelles d'une évaluation des grands problèmes écologiques auxquels pourraient faire face les générations à venir en Europe et de manière à contribuer à les régler tout de suite au lieu de les transmettre, sous leurs pires manifestations, aux générations futures. Nous croyons également avoir atteint ce but, du moins en partie.

Je suis donc heureux de vous présenter cette étude fort importante qui, croyons-nous, apportera une contribution d'envergure aux efforts continus qui sont déployés pour stabiliser l'environnement à l'échelon mondial.

Je tiens également à remercier particulièrement les deux parrains de l'étude, le ministère du Logement, de la Planification physique et de l'Environnement, Leidschendam (Pays-Bas) et le ministère de l'Environnement, Groupe de la prospective, Paris (France), qui, en 1985, ont eu la sagesse et la vision d'en comprendre l'importance. Sans leur aide et leur encouragement constant, nous n'aurions pu mener notre tâche à bon port.

Ted Munn
Chef
Programme de l'environnement
IIASA

Conclusions principales

- À cause des liens qui existent entre l'environnement mondial et celui de l'Europe, il n'est pas possible de stabiliser complètement l'environnement *européen* au XXI^e siècle sans d'abord agir sur l'environnement *mondial*.
- Si les tendances actuelles du développement économique et de la protection environnementale en Europe et ailleurs se poursuivent, l'environnement européen continuera à se détériorer.
- Une forte croissance économique en Europe et ailleurs sans une protection convenable de l'environnement conduira à des problèmes écologiques beaucoup plus prononcés.
- Un développement économique en Europe axé sur l'environnement offre l'espoir d'atténuer les problèmes à l'échelle locale et régionale qui sont particuliers à l'Europe.
- Toutefois, de telles mesures ne peuvent, de par leur nature, résoudre les problèmes en Europe qui auront été amenés par des modifications provoquées à l'échelle de la planète. Pour atteindre ce but, tous les autres pays doivent également adopter une ligne de conduite axée sur la protection de l'environnement.
- Par conséquent, les pays européens doivent faire tout ce qui est en leur pouvoir pour instaurer, tant chez eux que dans le reste du monde, un développement qui soit axé sur la protection de l'environnement.

Remerciements

L'étude a été subventionnée par le ministère du Logement, de la Planification urbaine et de l'Environnement, Leidschendam (Pays-Bas) et par le ministère de l'Environnement, Groupe de la prospective, Paris (France). Ont également collaboré les institutions suivantes: Institut de recherche sur la pédologie et la chimie agricole, Académie des sciences de Hongrie, Budapest; Institut national de l'hygiène et de la protection environnementale, Bilthoven (Pays-Bas); et Institut de géographie et d'organisation spatiale, Académie des sciences de Pologne, Warsaw.

La National Science Foundation des États-Unis a également apporté une contribution financière aux travaux d'un groupe de réflexion (4 août 1988) sur les indicateurs de pré-alerte des modifications environnementales (subvention INT-8706669).

Beaucoup d'autres personnes nous ont grandement aidés dans cette étude. Nous remercions particulièrement les membres des comités scientifique et politique, à savoir

Comité scientifique

F. di Castri, France (président)
 M. Antonovsky, URSS/IIASA
 M.J. Chadwick, R.-U.
 P.J. Crutzen, RFA
 M. Falkenmark, Suède
 J. Jäger, RFA
 R. Kulikowski, Pologne
 E. Meszaros, Hongrie
 T. Schneider, Pays-Bas
 P. Schuett, RFA
 L. Somlyody, Hongrie
 J.P. Vanderborght, Belgique
 R. Wollast, Belgique

Comité politique

L. Ginjaar, Pays-Bas (président)
 L. Chabason, France
 L. Halvers, R.-U.
 H.P. van Heel, Pays-Bas
 G.P. Hekstra, Pays-Bas
 Z. Kaczmarek, Pologne
 J. Kreysa, Belgique
 J. Okuniewski, Pologne
 G.C. Pinchera, Italie
 J. Theys, France
 E. Tommila, Finlande
 E. U. von Weizsäcker, RFA
 B.C.J. Zoeteman, Pays-Bas

Ont également collaboré à l'étude les participants suivants de l'équipe de recherche du Programme estival des jeunes scientifiques 1987 (PESJ): Marc Bandelier, France; Horst Behrendt, République démocratique allemande; Rudolf de Groot, Pays-Bas); Didier Etchanchu, France; Aude Joly, France; Aili Käärik, Suède; Nicolai Kazantsev, URSS; Vicki Norberg-Bohm, É.-U.; Janusz Olejnik, Pologne; Sally Prince, É.-U.; Johannes Schaffer, Autriche; Philippe Souchu, France; Janet Yanowitz, É.-U.; et Marco Zavatarelli, Italie.

Deux participants de l'équipe du Programme estival pour 1988 ont également apporté leur contribution: Meinhard Breiling, Autriche; et Philip Weller, Canada (PESJ).

Notre reconnaissance s'étend également à William Clark, Université de Harvard, Cambridge, Mass. (É.-U.) et à Leen Hordijk, Institut national de l'hygiène et de la protection environnementale, Bilthoven (Pays-Bas), qui ont conçu l'étude et en ont assuré la bonne marche pendant les premières étapes d'élaboration, et à Laurent Mermet qui a largement contribué à l'aboutissement des deux exercices de politique. Il convient également de mentionner l'équipe du projet sur la pollution atmosphérique transfrontalière de l'IIASA, dont le logiciel a servi à dresser les cartes des modifications climatiques.

En dernier lieu, nous sommes vivement reconnaissants à Hélène Pankl et Kathy O'Connell des heures qu'elles ont consacrées à la préparation du document final et aux interminables ébauches qui l'ont précédé.

Table des matières

<i>Avant-propos</i>	iii
<i>Conclusions principales</i>	v
<i>Remerciements</i>	vii
1. Introduction	1
1.1. Le problème mondial	1
1.2. Le problème européen	2
1.3. Les buts de l'étude	3
2. Méthodes	3
2.1. Construction de scénarios plausibles	3
2.2. Choix des scénarios alternatifs non impossibles	4
2.3. Élaboration des dilemmes politiques	5
3. Scénarios socio-économiques futurs pour l'Europe	6
3.1. Scénarios socio-économiques généraux pour l'Europe	6
3.2. Population	7
3.3. Énergie	8
3.4. Industrie et transports	10
3.5. Agriculture	14
3.6. Forêts	15
3.7. Le passage à un nouveau système technique	17
4. Scénarios écologiques futurs pour l'Europe	23
4.1. Climat	23
4.2. Hydrologie	30
4.3. Pollution atmosphérique et acidification régionale	32
4.4. Qualité des sols	41
4.5. Qualité de l'eau	50
4.6. Biotopes	52

4.7. Utilisation des terres	57
4.8. Cohérence interne des scénarios	61
5. Dilemmes politiques et exercices d'élaboration de politiques	63
5.1. Dilemmes politiques	63
5.2. Méthodes de formulation d'une politique environnementale à long terme	70
5.3. Illustration par un exemple: l'accumulation de matières toxiques, prélude à des bombes chimiques à retardement	72
6. Systèmes de pré-alerte	76
6.1. Introduction	76
6.2. Cadre conceptuel	76
6.3. Quelques principes généraux	77
6.4. Quelques indicateurs possibles de pré-alerte applicables à des modifications écologiques	78
6.5. Quelques exemples	79
6.6. Rôle des modèles	83
7. Quelques conséquences écologiques plausibles de quatre chemins de développement	84
7.1. Quelques chemins de développement	84
7.2. Cadre d'évaluation de la gravité des dilemmes	85
7.3. Conséquences de divers chemins de développement sur l'environnement	91
8. Conclusions principales et recommandations générales pour des politiques propres à stabiliser l'environnement européen	97
8.1. Conclusions principales	97
8.2. Recommandations générales, éléments de politiques propres à stabiliser l'environnement européen	97
9. Recommandations pour des travaux ultérieurs	103
9.1. Tâches liées à la construction de scénarios	103
9.2. Tâches liées aux évaluations environnementales	107
9.3. Tâches liées à l'élaboration de politiques	108
Bibliographie	112
Annexe A: Liste des réunions tenues dans le cadre de l'étude	118
Annexe B: Liste des documents de travail de l'IIASA et d'autres publications intéressant l'étude	118
Annexe C: Quelques grands systèmes de surveillance en Europe	120
Annexe D: Abréviations	121

L'environnement futur en Europe de l'est et de l'ouest: Conséquences de divers scénarios de développement

1. Introduction

1.1. Le problème mondial

Malgré les progrès énormes que nous avons faits pour mieux comprendre, interpréter et, à la longue, gérer le monde qui nous entoure, nous approchons du XXI^e siècle avec une ignorance complète de ce qui pourra arriver tant sur le plan des activités humaines qui affectent l'environnement que des réactions de la terre à ces activités. Un fait demeure certain: notre planète sera soumise à des pressions jusque là sans égal depuis sa création. La population du globe devrait passer de 5 milliards à 8,2 milliards d'habitants d'ici 35 ans. Au cours de cette période, la consommation d'énergie pourrait facilement doubler par rapport à celle de 1980, la production alimentaire devrait augmenter de 3% ou 4% par année et, d'une manière générale, les activités économiques pourraient quintupler [rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (CMED, 1987)].

De plus, le "monde de demain" ne sera pas simplement une version "gonflée" du "monde d'aujourd'hui" avec une population plus importante, une consommation d'énergie accrue, une activité industrielle étendue, et ainsi de suite. Le monde du XXI^e siècle sera qualitativement différent de celui que nous connaissons aujourd'hui, sous au moins trois aspects importants. En premier lieu, les nouvelles technologies transformeront la relation de l'homme avec la nature. Du point de vue positif, l'industrie s'attachera non plus à des *produits* à fabriquer mais bien à des *fonctions* à exécuter (Colombo, 1985). Un excellent exemple est la transition progressive d'une agriculture fortement dépendante des produits chimiques à un mode de production agricole qui fera essentiellement appel à l'application des bio-technologies. Du point de vue négatif, la libération d'organismes créés par l'homme pourra causer de nouveaux risques si leur développement et leurs utilisations ne sont pas soigneusement surveillés.

Le deuxième aspect qui distingue le monde de demain de celui d'aujourd'hui est la modification du climat. À cause de l'accumulation des gaz de l'effet de serre dans l'atmosphère, on croit que les températures annuelles moyennes sur la planète augmenteront jusqu'à des niveaux jamais enregistrés au cours des 200 siècles précédents. Et pourtant, même les modèles climatiques les plus perfectionnés ne peuvent actuellement prévoir la transformation des climats régionaux et continentaux.

En troisième lieu, comme le signalait Clark (1987a), la société a dépassé le stade des problèmes écologiques localisés et relativement simples. Ce qui était autrefois limité à des incidents locaux de pollution qui survenaient dans un bassin hydrographique ou un bassin atmosphérique communs touche maintenant un grand nombre de pays. Ce qui était auparavant des épisodes aigus mais brefs de dommages réversibles est maintenant devenu des phénomènes qui affecteront beaucoup de générations. Ce qui posait avant de simples questions de préservation traduit maintenant des liens complexes entre environnement et développement. Ces problèmes s'aggraveront pendant le prochain siècle au fur et à mesure que la société fera face à une interdépendance de plus en plus complexe de l'économie globale et de l'environnement mondial.

Par comparaison aux "générations" antérieures de problèmes, ces nouveaux schémas d'interaction se caractérisent par une grande ignorance scientifique, des décisions coûteuses et des échelles temporelles et spatiales qui transcendent celles de la plupart des organismes contemporains de politique et de réglementation.

1.2. Le problème européen

L'environnement européen est étroitement lié à l'environnement mondial par divers systèmes comme le climat et l'ozone stratosphérique. Ces relations sont réciproques: les activités en Europe affectent l'environnement mondial et inversement. De plus, l'offre et la demande de ressources naturelles en Europe sont liées à l'offre et à la demande mondiales. Par exemple, l'utilisation des terres européennes pour la production forestière dépendra dans une large mesure de la disponibilité (ou de l'absence) des réserves forestières à l'échelle mondiale. Il s'ensuit donc que le problème de gestion de l'environnement européen doit être envisagé dans le contexte de l'environnement mondial.

Il est cependant important de signaler que les problèmes de l'Europe ne se retrouvent pas tous à l'échelle mondiale; les sociétés européennes peuvent faire une grande partie du chemin elles mêmes, quels que soit les événements mondiaux. Les dépôts acides et l'accumulation ou la libération des matières toxiques représentent essentiellement des problèmes régionaux et continentaux. Bien que de tels problèmes soient reliés au climat par des interactions complexes, leur solution repose explicitement sur les mesures que prendra l'Europe pour en atténuer les effets.

1.3. Les buts de l'étude

L'objet de cette étude est d'apporter une nouvelle vision de la gestion à long terme de l'environnement européen, à une époque où les technologies, le climat et l'ampleur des conséquences connaissent une période de transition fondamentale. Le terme *environnement* désigne non seulement l'air, l'eau, le sol, les forêts, etc., mais aussi la qualité de vie d'une manière générale. La région étudiée, qui est l'Europe, s'étend de l'océan Atlantique jusqu'à l'Oural et la période visée est comprise entre le moment actuel et l'an 2030. L'accent est mis sur un développement adapté à l'environnement, c'est-à-dire à la fois sur les occasions qui se présentent aux sociétés européennes d'atteindre ce but et sur les contraintes qu'impose au développement la capacité d'adaptation fort lente des systèmes écologiques.

Comme hypothèse de base, nous supposons qu'il est possible d'améliorer la gestion des problèmes écologiques à long terme malgré les incertitudes énormes qui viendront continuellement contrecarrer les prédictions détaillées que nous tentons de faire de l'environnement à venir (White, 1983). Aussi, l'étude n'a pas pour but de prédire l'avenir ni même d'établir une série de scénarios en ce sens. Nous supposons plutôt que l'avenir est incertain et, sur cette base, nous proposons de nouvelles méthodes de gestion *du moment présent* de telle sorte que les progrès à venir de nature technologique, socio-économique et environnementale n'entraîneront aucun bouleversement majeur pour la société et pourraient même, en fait, lui être bénéfiques dans certains cas.

En bref, voici les objectifs que nous nous sommes fixés:

- (1) Établir les caractéristiques des transformations environnementales à grande échelle qui pourraient découler de scénarios plausibles du développement socio-économique de l'Europe au cours des 40 prochaines années, en portant une attention particulière à quelques scénarios de rechange ou percées technologiques *non impossibles* qui pourraient survenir.
- (2) Décrire et évaluer l'efficacité de diverses autres mesures technologiques et institutionnelles destinées à contrôler les conséquences à grande échelle et à long terme du développement futur de l'Europe en fonction de son environnement naturel.
- (3) Isoler les priorités au niveau de la recherche et de l'observation de manière que les scientifiques puissent être mieux en mesure d'évaluer *sur le plan de l'intérêt général* les transformations environnementales décrites en (1).

2. Méthodes

2.1. Construction de scénarios plausibles

Il ne fait aucun doute que l'état actuel de l'environnement européen est grandement affecté par les actions politiques et socio-économiques, dont certaines remontent même à plusieurs siècles. Pour savoir à quoi ressemblera l'environnement en Europe, il faut donc commencer par évaluer les facteurs

politiques et socio-économiques et certaines hypothèses de travail (scénarios) pour l'avenir, et les jumeler ensuite avec des scénarios écologiques. Dans les deux cas, le nombre d'indicateurs possibles est tellement élevé qu'il est nécessaire de restreindre le choix.

Le choix des éléments du *Tableau 2.1* repose sur diverses études (rapport de la Commission Brundtland, CMED, 1987, etc.) et des échanges avec nos correspondants des milieux scientifiques et politiques. Même cette "liste de souhaits" est trop vaste et l'ensemble des indicateurs de travail sera nécessairement plus restreint. Le choix des secteurs, des composants et des indicateurs est donc d'une importance primordiale.

Il convient de souligner ici que les scénarios que nous présenterons nous paraissent *plausibles* mais pas nécessairement *probables*. Qui serait assez téméraire pour prédire l'état de l'environnement en Europe en l'an 2030? Notre but est d'utiliser les scénarios comme "*hommes de paille*" afin d'illustrer quelques-uns des dilemmes auxquels l'Europe est confrontée et d'aider à élaborer des politiques vigoureuses de gestion du présent qui nous permettront de faire face à un futur très incertain.

Il faut aussi souligner que certains effets sur l'environnement sont souvent retardés pendant des décennies (ce qu'on appelle des "bombes à retardement" environnementales) et déplacés dans l'espace, parfois à cause d'interactions intermédiaires mal comprises. Une grande incertitude entoure ces questions à long terme, mais il n'en existe pas moins un besoin très réel de formuler à leur égard des politiques environnementales pertinentes. [Voir Stigliani (1988) pour plus de détails à ce sujet.]

Enfin, bien que l'approche sectorielle soit utilisée pour des raisons pratiques, on doit malheureusement constater que la piètre gestion de l'environnement est en partie attribuable à ce découpage par secteur et composant environnemental. En effet, une telle approche masque les caractéristiques essentielles de la problématique globale, c'est-à-dire la multitude de liens et de rétroactions en cause. Pour atténuer partiellement les conséquences de cette approche compartimentée, nous aborderons sommairement à la Section 4.8 la cohérence interne qui se dégage des scénarios.

2.2. Choix des scénarios alternatifs non impossibles

Les scénarios énumérés ci-avant découlent naturellement des conditions actuelles. Toutefois, il est possible que la courbe d'un scénario prenne une tangente différente ou même qu'elle affiche une rupture assez brutale. Nous avons appelé *ruptures ou évolutions non tendanciennes* dans notre rapport de tels événements peu probables mais non impossibles. On estime que ces variantes des scénarios les plus plausibles se produiront au cours des 30 premières années du XXI^e siècle, aussi l'indication des années (comme à la *Figure 3.2*) doit être considérée uniquement comme une estimation, sans plus.

Tableau 2.1. Quelques secteurs socio-économiques, composants de l'environnement et indicateurs associés.

<i>Secteurs socio-économiques</i>	<i>Indicateurs associés</i>
Population	Variation annuelle du nombre d'habitants et de leur âge
Énergie	Production d'énergie selon le type de combustible, émissions de SO ₂ et CO ₂
Industries et transports	Population active, capacité de production, émissions polluantes
Agriculture	Rendements, types de sol
Forêts	Ressources annuelles de bois et augmentation de l'utilisation du bois
Plurisectoriel	Demande d'eau
<i>Composants environnementaux</i>	
Climat	Température, précipitations et variabilité interannuelle
Hydrologie	Élévation du niveau de la mer, réserves d'eau, humidité du sol, niveau des lacs et des nappes phréatiques, débit des fleuves et variabilité interannuelle
Qualité de l'air	Concentrations de SO ₂ , O ₃ , NO _x et CO ₂ ; dépôts de S
Qualité du sol	Acidification, salinisation, érosion, épuisement/saturation des éléments nutritifs, capacité d'absorption, toxification
Qualité de l'eau	Acidification, eutrophisation, toxification
Biotopes	Productivité des mers, diversité des espèces, espèces menacées
Utilisation des terres	Pourcentage des terres utilisées pour les forêts, l'agriculture et les régions bâties

2.3. Élaboration des dilemmes politiques

Après avoir construit un ensemble de scénarios et de points tournants (Sections 3 et 4), nous avons mis au point une série de dilemmes politiques (Section 5) afin de confronter des analystes de politique, des gestionnaires de l'environnement et des scientifiques européens de très haut niveau grâce à des "exercices de politiques" soigneusement préparés. Il convient ici de répéter que l'un des principaux objectifs consiste à élaborer un nouveau style de gestion à long terme de l'environnement et, dans un second temps, à résoudre des questions particulières qui, de toute façon, évoluent avec le temps et nécessitent des stratégies de gestion adaptées. Les dilemmes politiques servent donc de véhicule à l'accomplissement de nos buts.

3. Scénarios socio-économiques futurs pour l'Europe*

3.1. Scénarios socio-économiques généraux pour l'Europe

Toute étude de l'avenir environnemental européen est vouée à l'échec à moins de tenir compte des facteurs socio-économiques. Quatre principes sont à la base du comportement humain: 1) le maintien d'une certaine structure hiérarchique ou d'un statut social (reposant sur la naissance, l'éducation et la richesse, par exemple); 2) le désir de connaître avant de prendre une décision (y compris les décisions au sujet de l'environnement); 3) le pragmatisme conservateur ("business as usual syndrome") des secteurs industriel et commercial; et 4) la croissance (notamment pour surmonter les pénuries et gérer l'abondance). Sur ces plans on constate que les groupes à revenus élevé comme ceux à revenus faibles peuvent détériorer l'environnement (par exemple, par une surutilisation de l'énergie dans les pays industrialisés et du bois de chauffage dans les pays en développement). L'histoire nous révèle que le changement social se produit habituellement à un rythme très lent, mais que ses effets cumulés peuvent être très importants.

D'une manière générale, quelques hypothèses socio-économiques plausibles pour l'Europe s'énonceraient comme suit:

- Une insistance de plus en plus vive sur la valeur d'une meilleure qualité environnementale qui déboucherait, par exemple, sur une internalisation plus répandue du coût des dégâts écologiques.
- Une augmentation des activités artisanales ou de services et des autres activités liées à la vie domestique.
- Une migration nette de l'industrie à l'extérieur de l'Europe.
- Une augmentation du chômage. Le plein emploi peut représenter un paradigme pour le XX^e siècle, mais non pour le XXI^e. La semaine de travail se raccourcira et les temps libres augmenteront en conséquence, d'où une hausse des voyages et des activités de loisirs. Ces tendances paraissent à la *Figure 3.1*.
- Dans les pays d'Europe de l'Ouest, au moins, une diminution de l'importance des frontières nationales. Beaucoup de retraités passeront l'hiver dans le sud de l'Europe. Parallèlement, il y aura augmentation des activités estivales dans les Alpes, ou les régions littorales.

Au nombre *des ruptures non impossibles*, mentionnons:

- Une guerre.
- Une dépression économique grave et soudaine.
- Des migrations attribuables à des facteurs économiques ou environnementaux.

*Bon nombre des idées présentées dans cette section proviennent de la rencontre d'un groupe de travail tenue à l'IIASA les 29 février et 1^{er} mars 1988.

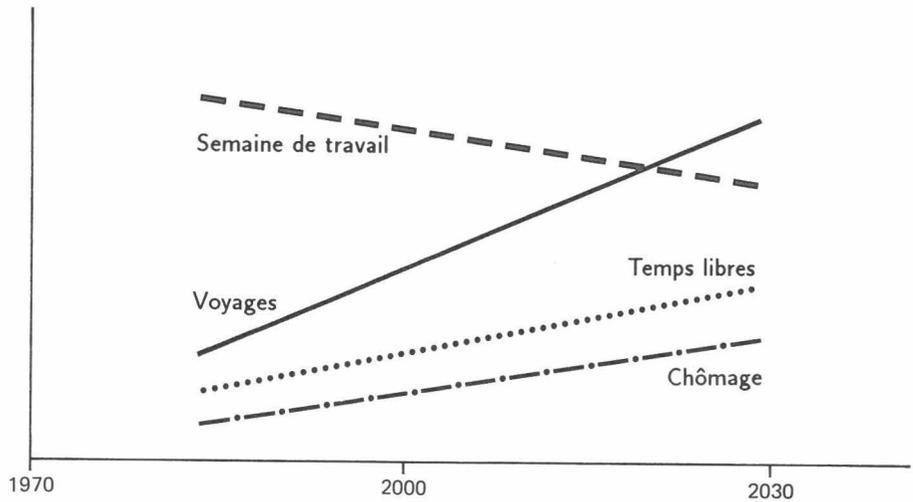


Figure 3.1. Quelques tendances sociales en Europe jusqu'à l'an 2030 (hypothèses).

- Une forte pression de l'opinion publique, quelle soit fondée ou non, pour considérer que le taux de chômage est devenu intolérable, amenant ainsi les gouvernements à prendre de nouvelles mesures importantes.

3.2. Population

La Figure 3.2 présente un scénario plausible et quelques ruptures possibles dans les variations démographiques en Europe jusqu'à l'an 2050 (Wolf *et al.*, 1988). Le scénario classique (troisième courbe du bas) est celui des Nations Unies; il repose sur l'hypothèse que la fécondité, qui est en régression depuis 1960, augmentera lentement pour atteindre presque le niveau de remplacement d'ici à l'an 2020. L'introduction d'une augmentation plausible d'un million d'immigrés chaque année entre 1995 et 2004 (troisième courbe du haut) n'a à peu près aucun effet sur la population totale. Cependant, les *points tournants* suivants ne sont pas impossibles:

- Une explosion démographique se produisant au cours de la période 1990-2015, presque semblable à celle qui est survenue après la Seconde Guerre mondiale (courbe supérieure) ("baby boom").
- Un "médicament miracle" qui ferait baisser de 50% la mortalité chez les gens de plus de 60 ans (deuxième courbe du haut).
- Une baisse de la fécondité à un niveau déjà observé dans certains pays d'Europe de l'Ouest (deuxième courbe du bas).

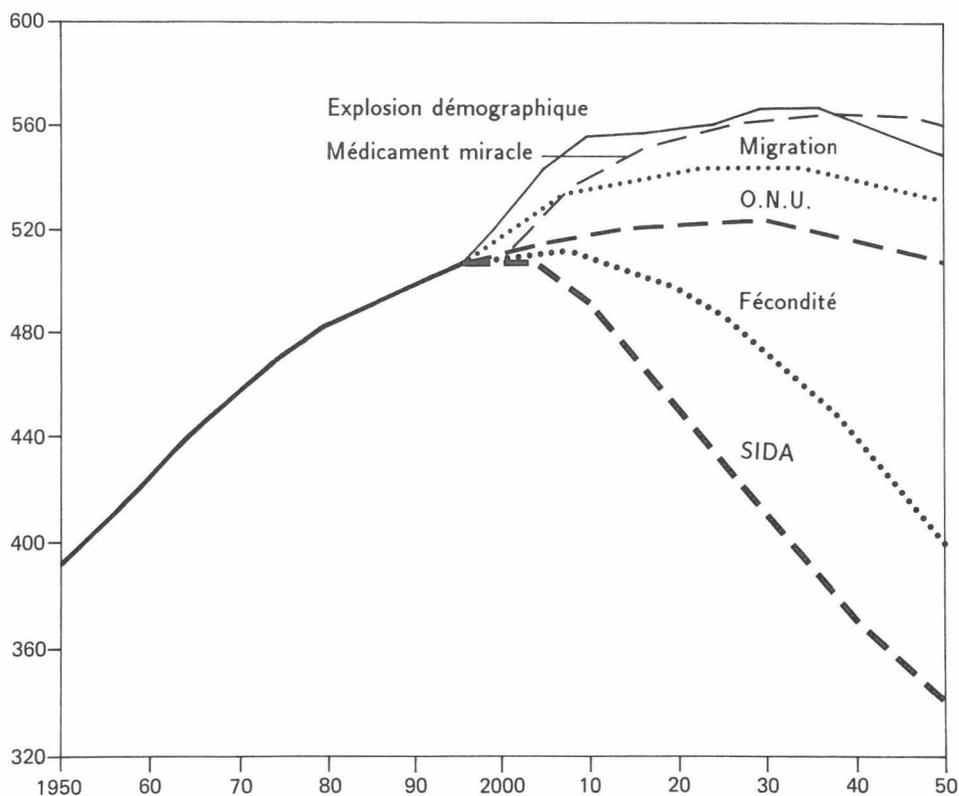


Figure 3.2. Scénarios d'évolution de la population en Europe, à l'exception de la partie européenne de l'URSS (Wolf *et al.*, 1988).

- Une épidémie semblable à celle du SIDA, qui emporterait 50% des gens de 30 à 50 ans après 2010 sans affecter le reste de la population (courbe inférieure). La raison d'être de ces courbes est donnée dans Wolf *et al.* (1988).

3.3. Énergie

Les scénarios européens en matière d'énergie pour la période 1980 à 2000 se fondent sur les utilisations officielles d'énergie déclarées par chacun des pays de l'Europe; les projections jusqu'à l'an 2030 reposent sur un scénario de technologie classique décrit dans Rogner (1986). Les résultats sont résumés au *Tableaux 3.1 à 3.3* en ce qui concerne l'Europe, l'Europe de l'Est et l'Europe de l'Ouest respectivement.

Tableau 3.1. Consommation d'énergie en Europe (en exajoules) (répartition en pourcentage indiquée entre parenthèses).

Année	Charbon	Pétrole	Gaz	Nucléaire	Hydroélectricité	Autre	Total
1980	29 (29%)	44 (43%)	19 (19%)	3 (3%)	5 (5%)	2 (2%)	102
2000	37 (27%)	40 (30%)	32 (24%)	18 (13%)	7 (5%)	2 (1%)	136
2030	48 (28%)	32 (19%)	39 (23%)	34 (20%)	11 (6%)	5 (3%)	169

Tableau 3.2. Consommation d'énergie en Europe de l'Est (y compris la partie européenne de l'URSS) (en exajoules) (répartition en pourcentage indiquée entre parenthèses).

Année	Charbon	Pétrole	Gaz	Nucléaire	Hydroélectricité	Autre	Total
1980	18 (36%)	17 (33%)	12 (24%)	1 (1%)	1 (3%)	2 (3%)	51
2030	27 (29%)	13 (14%)	25 (27%)	22 (24%)	5 (5%)	1 (1%)	93

Tableau 3.3. Consommation d'énergie en Europe de l'Ouest (en exajoules) (répartition en pourcentage indiquée entre parenthèses).

Année	Charbon	Pétrole	Gaz	Nucléaire	Hydroélectricité	Autre	Total
1980	11 (22%)	27 (52%)	8 (15%)	2 (4%)	4 (7%)	1 (1%)	52
2030	21 (27%)	19 (25%)	14 (18%)	12 (16%)	6 (8%)	4 (6%)	76

Voici les principales caractéristiques du scénario pour toute l'Europe (Tableau 3.1):

- Consommation croissante de l'énergie totale.
- Importance décroissante du pétrole (tant en pourcentage qu'en chiffres absolus).
- Utilisation croissante de l'énergie nucléaire.
- Contribution assez stable du charbon et du gaz dans la consommation totale d'énergie.

Bien que le charbon et le pétrole représentent les principaux types de combustible dans les pays d'Europe de l'Est au cours des années 1980, le scénario du Tableau 3.2 indique que le charbon conservera le premier rang et que le gaz deviendra aussi important que le charbon vers l'an 2030.

Comme on le constate au Tableau 3.3, le pétrole est aujourd'hui le principal combustible utilisé dans les pays d'Europe de l'Ouest puisqu'il figure pour plus de la moitié de la consommation totale d'énergie. Son importance devrait diminuer largement, si bien que sa part du marché deviendra égale à celle du

charbon avant le milieu du siècle prochain, ces deux sources intervenant pour près de la moitié de la consommation totale d'énergie.

Les ruptures non impossibles s'énoncent comme suit:

- (a) Une résistance accrue du public à l'énergie nucléaire, se traduisant par un moratoire sur la construction de centrales nucléaires. Cette situation peut déboucher sur deux résultats: Messner et Strubegger (1986) estiment que les systèmes énergétiques de l'Europe pourront s'accommoder aux conséquences d'un tel blocage et que le gaz naturel remplacera l'énergie nucléaire. Par contre, d'autres estiment que le charbon pourrait être le combustible de remplacement.
- (b) La conception de réacteurs "à sécurité positive" et une meilleure communication entre l'industrie nucléaire et le public permettent de surmonter la résistance des gens à l'énergie nucléaire. Il convient de souligner que la fusion n'est pas près de se réaliser avant l'an 2050.
- (c) Des réserves importantes de gaz naturel (biogénique ou non biogénique) sont découvertes à de grandes profondeurs sous la terre.
- (d) La mise au point de systèmes énergétiques à hydrogène par la séparation du carbone du gaz naturel, ou par l'électrolyse de l'eau de mer. L'énergie nécessaire à la séparation du carbone ou à l'électrolyse pourrait être fournie par une centrale nucléaire ou par un système à énergie solaire.
- (e) Le développement de technologies servant à capturer les émissions de CO₂ provenant de l'utilisation de combustibles fossiles.
- (f) Des percées technologiques permettant le transfert et l'utilisation plus efficaces de l'énergie, ce qui pourrait diminuer fortement la demande d'énergie (voir les *Tableaux 3.1 à 3.9*) jusqu'à 20% en l'an 2015 et 40% dès l'an 2030. L'emploi de superconducteurs à l'air ambiant pourrait, par exemple, contribuer à la production d'électricité sans perte en cours de transport.
- (g) Réexamen des objectifs énergétiques visant à obtenir des réserves énergétiques durables d'ici la fin du XXI^e siècle. Il faudrait alors changer radicalement les structures et notre qualité de vie. Nakicenovic et Messner (1982) postulent deux scénarios: a) un scénario d'"énergie solaire dure" qui repose sur une utilisation durable du potentiel de la biomasse, de l'hydroélectricité et de l'énergie solaire, et b) un scénario d'"énergie solaire douce" reposant autant que possible sur une conversion décentralisée et locale de l'énergie.

3.4. Industries et transports

Parmi les scénarios plausibles, mentionnons ceux-ci:

(a) Industries

L'une des hypothèses la plus vraisemblable est que les économies d'échelle ou la souplesse de la production seront l'une des principales forces du développement

industriel. Cela signifie qu'on cherchera à distancer la concurrence en diversifiant et en spécialisant les produits et, par conséquent, en se concentrant sur des créneaux particuliers du marché. Ce genre de mesure se produira surtout dans les industries manufacturières, mais également de plus en plus dans les industries lourdes. On observera également une automatisation plus poussée, une utilisation plus efficace des matériaux et de l'énergie, le recyclage de l'eau et une diminution des émissions polluantes dans l'air et dans l'eau. Le développement des biotechnologies amènera probablement à la longue une réduction des émissions et une diminution des risques de déversement de produits chimiques dangereux (Joly et Bandelier, 1988). En Europe, l'industrie continuera de s'implanter près des sources de matières premières et des grands marchés de consommation.

(i) Sidérurgie et métaux de base

- Diminution des marchés en Europe, concurrence internationale vive, marchés restreints des aciers spécialisés et plus grandes diversifications des produits.
- En l'an 2005, la capacité de production atteindra environ 70% de celle d'aujourd'hui; la diminution de la population active pourra même être supérieure.
- Une collaboration accrue et un nombre plus imposant de consortiums.
- Automatisation plus poussée, utilisation plus efficace des matières premières et des produits et recyclage des vieux produits.

(ii) Industries chimiques

- Diversification accrue et mise sur le marché d'une foule de produits dont essentiellement des produits chimiques fins.
- Concurrence internationale vigoureuse.
- Plus grande efficacité, recyclage accru et automatisation plus poussée menant à une diminution de la consommation d'énergie et des matières premières ainsi que des émissions polluantes dans l'environnement.
- Diminution de la population active employée dans la chimie lourde et la pétrochimie, partiellement delocalisée.

(iii) Industries manufacturières

- Croissance et augmentation de la population active de ce secteur.
- Complexité, diversification et spécialisation plus poussées des produits. L'industrie européenne s'acheminera vers des produits spécialisés et basés sur la connaissance.
- Les services à caractère technologique, comme la conception, la planification, l'ingénierie et la livraison de projets "clefs en main", continueront de jouer un rôle important en Europe.
- Automatisation accrue, outillage au laser et utilisation des technologies de l'information.
- Importance accrue de la collaboration et des réseaux de sous-traitants.

- Remplacement de l'acier par des alliages, des céramiques et des plastiques hautement résistants. Cela modifiera la nature des émissions polluantes dans l'environnement.

(b) *Transports*

Une croissance forte des transports est attendue dans les prochaines décennies, et notamment des transports de marchandises. La *Figure 3.9* illustre cette évolution pour la Suède où l'on prévoit un doublement de la part du transport aérien dans le transport total de marchandises et un accroissement de 60% entre 1980 et l'an 2000 des transports routiers. Ceci correspond à une tendance d'ores et déjà constatée dans d'autres pays d'Europe, et notamment en France, où en trois ans, de 1986 à 1988, la circulation des poids lourds sur les autoroutes a augmenté de 50% (soit 12% à 13% de croissance par an!).

Pourcentage

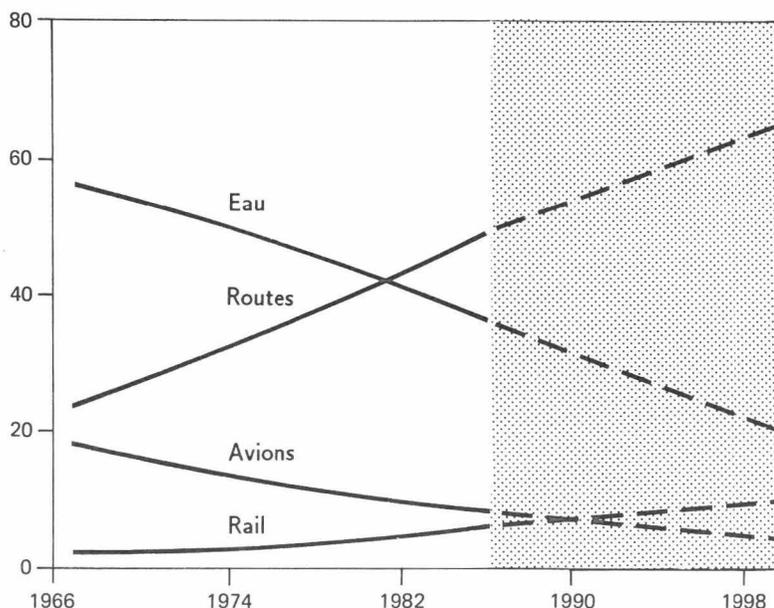


Figure 3.9. Répartition modale des exportations suédoises entre différents types de transport (Ministère Suédois des transports, 1987).

Naturellement, cet accroissement relatif des transports routiers ou aériens se traduira par une baisse corrélative des transports par voie d'eau ou par rail – et ceci malgré le développement des infrastructures du type “trains à grande vitesse”. En terme de conséquences pour l'environnement, il est clair que les transports par route ou par avion sont moins favorables que les modes alternatifs – train ou voie d'eau, et les évolutions attendues sont donc préoccupantes. Ces

conséquences (pollutions, bruit, utilisation du sol) sont abordées et précisées dans la Section 4.3.

Comme le note Wandel (1988), les tendances générales à long terme du transport en Europe pourraient, en résumé, être les suivantes:

- Augmentation forte des kilomètres parcourus par jour et par personne, malgré le développement rapide des télécommunications. Ceci est dû au fait que la mobilité croît avec le revenu, avec l'urbanisation dispersée et avec la baisse du coût relatif des transports. On estime que l'essentiel des déplacements des personnes correspondants sera réalisé par automobile pour les courtes distances et par transport aérien pour les trajets plus longs.
- Accroissement de la valeur des marchandises transportées et de la demande de transport "just in time" en raison du développement de la flexibilité dans la production et la distribution, de la complexification des filières et de l'accent mis sur une gestion "sans stock". Cette demande sera pour une part croissante satisfaite par le développement du trafic aérien ou routier, aux dépens du transport par rail ou par voie d'eau.
- Développement des transports internationaux au rythme de 4% à 6% par an, peut-être même plus en Europe de l'Ouest, en raison de la suppression des barrières physiques et techniques après 1992.
- Réserves insuffisantes de pétrole à partir de 2030 et de gaz à partir de 2060 pour répondre à cette demande en rapide évolution. Ceci signifie que l'utilisation de l'hydrogène, tirée par exemple de l'électrolyse de l'eau de mer, pourra devenir indispensable à partir du milieu du siècle prochain, y compris dans les transports aériens.

Parmi les *ruptures non impossibles*, mentionnons ceux-ci:

(a) *Industrie*

Une déviation marquée des scénarios classiques pourrait se produire à cause d'un événement environnemental comme une modification climatique, ou d'un désastre économique ou politique comme une dépression ou une guerre. Les formes de coopération économiques en Europe pourront par ailleurs être très différentes de ce qu'elles sont actuellement, permettant une croissance accrue. Voir aussi la Section 3.1.

(b) *Transports*

- Consommation accrue d'essence de qualité inférieure (à cause d'une pénurie d'hydrocarbures de haute qualité) conduisant à une augmentation des émissions de polluants atmosphériques.
- Politique volontaire de restriction des transports routiers et aériens à cause de la nécessité de réduire la pollution. Cette mesure pourrait se concrétiser par l'imposition de taxes élevées sur le combustible, de restrictions directes à l'égard des utilisateurs ou par un rajeunissement concerté des réseaux ferroviaires.

- Interruption soudaine des approvisionnements d'énergie destinés aux transports ou diminution importante du commerce international attribuable à des conflits ou à des politiques protectionnistes, amenant une baisse marquée des émissions polluantes.

3.5. Agriculture

À l'heure actuelle, les terres arables, qui sont utilisées pour les cultures annuelles permanentes, couvrent environ le tiers de l'Europe. Sur la base des tendances actuelles, on estime que la productivité annuelle des cultures céréalières augmentera de 1% d'ici l'an 2000 et de 0,5% entre les années 2000 et 2030 (De Wit *et al.*, 1987; Wong, 1986). Le *Tableau 3.4* résume les grandes tendances de cette augmentation au niveau des cultures céréalières.

Tableau 3.4. Développement agricole plausible en Europe pour la période 1980-2030 selon la superficie des terres (en millions de ha), la production totale (en millions de tonnes) et le rendement (tonnes/ha).

Région	1980			2000			2030		
	Sup.	Prod.	Rend.	Sup.	Prod.	Rend.	Sup.	Prod.	Rend.
Nordique ¹	3	10	3,3	2	9	4,5	2	10	5,0
CE-9 ²	27	120	4,5	18	98	5,4	13	82	6,3
Centrale ³	1	5	4,5	1	6	5,5	1	6	5,8
Sud ⁴	15	42	2,8	14	46	3,3	11	44	4,0
Est ⁵	84	189	2,3	68	200	3,0	60	216	3,6
Europe	130	366	2,8	103	359	3,5	87	378	4,2

¹Finlande, Norvège et Suède.

²Belgique, Luxembourg, Danemark, France, RFA, Irlande, Italie, Pays-Bas et R.-U.

³Autriche et Suisse.

⁴Albanie, Grèce, Portugal, Espagne et Yougoslavie.

⁵Bulgarie, Tchécoslovaquie, RDA, Hongrie, Pologne, Roumanie et partie européenne de l'URSS.

Au total, on prévoit d'éliminer du circuit de production quelque 40 millions d'hectares de terres agricoles, ce qui correspond à près de 30% des terres utilisées actuellement pour les cultures céréalières. La diminution la plus forte à ce titre se situe dans la CE où près de la moitié des terres agricoles pourrait être transférée à des usages non agricoles. Les hausses de productivité et l'élimination des superficies agricoles entraîneront une baisse de la population active. (Aux Pays-Bas, on estime cette diminution à quelque 2,5% au cours des 20 prochaines années (Nijkamp et Soeteman, 1988).)

Les progrès rapides des nouvelles technologies, et notamment des biotechnologies et des technologies de l'information, pourraient se solder par de nombreuses transformations imprévues de l'agriculture européenne (Joly et Banelier, 1988). Le taux de croissance annuel de la production agricole, qui se situe actuellement à environ 1%, pourrait doubler à la suite de ces progrès technologiques. La biotechnologie contribuera à la création de nouveaux produits (i) qui

limiteront les maladies et qui rendront les cultures résistantes aux ravageurs et aux insectes, (ii) ou aideront à produire des cultivars pour des milieux rudes (comme des sols salins ou une région défavorisée par le climat) (von Weizsäcker, 1986; Lavoux, 1987). La reproduction de plantes résistantes aux ravageurs ou aux maladies pourrait diminuer considérablement l'usage des insecticides et pesticides. En outre, les améliorations apportées par la biotechnologie pourraient donner lieu à des cultures fixatrices d'azote qui demanderaient donc moins d'engrais chimiques et qui diminueraient donc la pollution de l'air et de l'eau par les nitrates.

Lewis (1986) a évalué le rôle de la biotechnologie dans l'accroissement de l'énergie de la biomasse. D'ici à l'an 2000, les neuf pays de la CE ainsi qu'une partie des pays nordiques et l'Europe du Sud pourraient produire environ 2,5 exajoules d'énergie nette provenant de la biomasse, ce qui nécessiterait près de 14 millions d'hectares de terres auparavant consacrées à l'agriculture ou aux forêts. Une vaste application de la technologie de l'information au niveau des exploitations agricoles est susceptible d'améliorer la lutte contre les ravageurs et de contribuer à des économies d'énergie, d'eau et de terre.

Les *ruptures non impossibles* qui pourraient survenir dans l'agriculture européenne sont résumés dans les *Figures 3.4* et *3.5* (Brouwer et Chadwick, 1988) de la façon suivante:

- Augmentation supplémentaire de la productivité qui pourrait aller jusqu'à 2% par année (courbe supérieure de la *Figure 3.4*). Une telle hausse pourra faire diminuer encore plus la quantité de terres agricoles par rapport au scénario classique (courbe inférieure de la *Figure 3.5*).
- Adaptation à des conditions locales peu propices – par exemple, dans le sol, l'eau ou le climat (courbe supérieure de la *Figure 3.5*). Cela pourrait préserver la structure socio-économique des régions rurales mais aggraverait davantage les problèmes actuels des excédents agricoles.
- Amélioration de l'environnement par l'utilisation, entre autres choses, de plantes fixatrices d'azote, de techniques intégrées de lutte contre les ravageurs et de recyclage des déchets agricoles. Cette approche pourrait être bénéfique aux terres agricoles hautement productives de l'Europe.
- Accroissement de la monoculture par une plus grande utilisation de clones, se soldant par une diversité moins grande des paysages ruraux.

3.6. Forêts*

La *Figure 3.6* présente les scénarios de consommation annuelle finale des produits forestiers (exprimée en équivalents de bois rond), de l'augmentation annuelle nette (AAN) des forêts européennes et des coupes annuelles en Europe (CEE-FAO, 1986). On s'attend à ce que l'AAN et les coupes annuelles augmentent constamment et que l'écart entre les deux demeure notable. Cela signifie

*Ce sous-chapitre est l'oeuvre de S. Nilsson, Programme de l'environnement, IIASA.

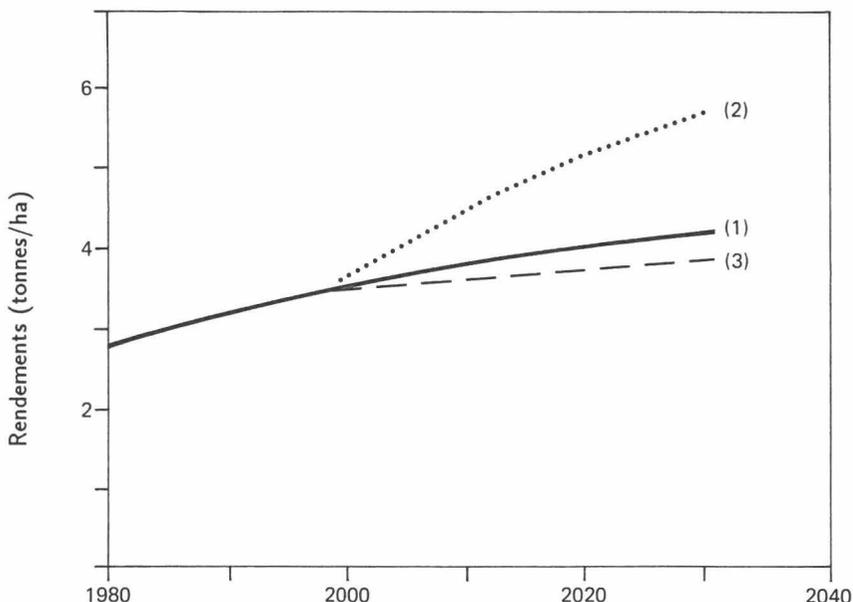


Figure 3.4. Scénarios des rendements agricoles en Europe jusqu'à l'an 2030: rendements (1 = scénario classique; 2 = augmentation de productivité; 3 = adaptation à des conditions locales peu favorables).

que l'Europe continuera de posséder une très importante réserve forestière inexploitée qui pourrait stimuler la mise en place d'une capacité accrue de traitement du bois. La demande totale de produits forestiers connaîtra une augmentation progressive, la hausse la plus forte se produisant dans les produits du papier et du bois et une plus modeste survenant au niveau de la pâte. La demande de sciages et de panneaux devrait augmenter légèrement ou demeurer stable.

Si l'abattage et la capacité de traitement du bois en Europe n'augmentent pas, l'Europe devra importer des quantités de plus en plus importantes de produits forestiers des autres continents. On observera dans l'avenir une modification des matières premières nécessaires à cette industrie. Le remplacement du bois par le papier-rebut, les résidus, les matières de remplissage, etc., influencera la structure de l'industrie. Compte tenu des conditions retenues dans le scénario présenté à la Figure 3.6, les investissements de l'industrie serviront probablement à améliorer la compétitivité des capacités existantes de production de sciages, de panneaux et de pâtes. On prévoit une expansion assez forte de la capacité de transformation du bois en produits du papier et panneaux [voir aussi Kreysa (1987) et Nilsson (1988)].

Les facteurs qui pourraient déclencher des points tournants non impossibles sont plutôt de nature environnementale que technologique (même s'il ne faut pas négliger l'impact possible des biotechnologies) et nous les aborderons dans la Section 4.6.1.

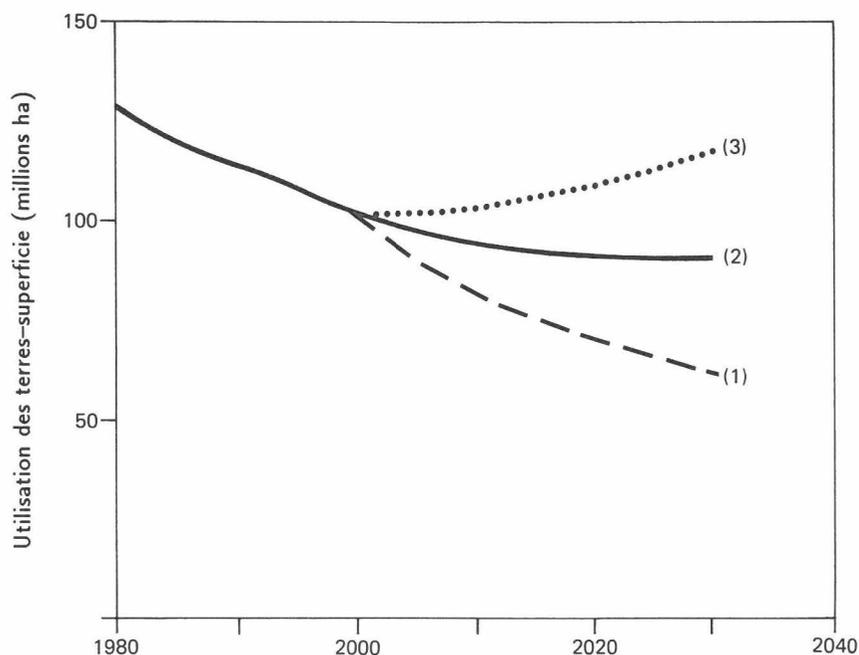


Figure 3.5. Scénarios d'utilisation des terres agricoles en Europe jusqu'à l'an 2030: utilisation des terres (1 = scénario classique; 2 = augmentation de productivité; 3 = adaptation à des conditions locales peu favorables).

3.7. Le passage à un nouveau système technique

On a déjà évoqué, domaine par domaine, les conséquences possibles des technologies nouvelles sur la production, la localisation des activités ou l'emploi – et donc sur l'environnement.

De fait, "l'utilisation de nouvelles technologies est susceptible de bouleverser totalement les conditions dans lesquelles l'environnement pourra être géré dans le futur. Les biotechnologies devraient ainsi ouvrir des perspectives intéressantes en matière de lutte biologique intégrée, de fixation de l'azote atmosphérique, de valorisation des déchets agro-alimentaires ou encore de restauration des milieux dégradés. D'importants progrès sont également à attendre en matière de stockage, de transport et de traitement des déchets industriels: par exemple, bactéries capables de casser ou digérer des molécules toxiques, techniques de télésurveillance, capteurs couplés à des asservissements. Enfin, le développement attendu des cultures hydroponiques de l'élevage hors sol, "banques génétiques", des essences forestières à croissance très rapide, laisse envisager des changements radicaux dans les modes de production agricole du XXI^e siècle et ouvre la perspective d'une nature entièrement fabriquée par l'homme".*

*Source: J. Theys, l'Environnement et les ressources au XXI^e siècle, *Futuribles*, Novembre 1987.

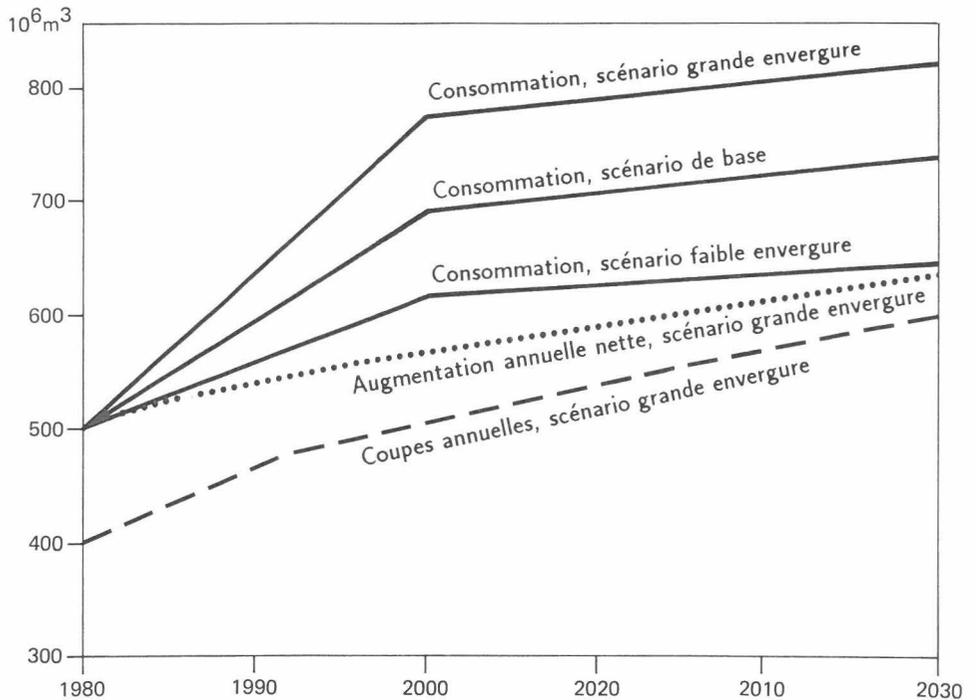


Figure 3.6. Scénarios des coupes forestières annuelles, de l'augmentation annuelle nette des forêts et de la consommation annuelle finale de produits forestiers en Europe (toutes exprimées en mètres cubes par année). Les scénarios de faible envergure reposent sur "des hypothèses modestes mais réalistes" tandis que les scénarios de grande envergure se fondent sur "les hypothèses les plus optimistes (mais tout de même réalistes)." (Source: CEE-FAO, 1986).

Le prochain siècle verra se mettre en place un *nouveau "système technique"*, fondé sur l'articulation de la microélectronique, des biotechnologies et de nouveaux modes de production de l'énergie. Il dépendra des politiques de recherche et de contrôle de l'environnement futures d'anticiper ou pas les risques et opportunités liés à ce nouveau système technique – comme l'illustrent les trois exemples qui suivent.

3.7.1. Applications des biotechnologies à l'agriculture

L'utilisation des biotechnologies est appelée à jouer à long terme un rôle majeur dans la production agricole. Dans le domaine de la production animale, par exemple, l'emploi de l'hormone de croissance permettra d'augmenter d'au moins 20% à 30% les rendements laitiers sans accroissement de l'alimentation du bétail (US, OTA, 1986). Dans ces conditions, la demande future de produits animaux pourra être satisfaite avec un cheptel réduit, moins de terre et moins de consommations intermédiaires.

Les biotechnologies permettront également d'accroître sensiblement les rendements en matière de production végétale ou céréalière, ce qui se traduira également par une moindre pression sur les ressources en eau et en espace. Il est par ailleurs probable qu'à long terme les techniques de fixation artificielle de l'azote seront maîtrisées, ce qui conduira à une moindre utilisation d'engrais azotés.

Enfin, l'ingénierie génétique donnera naissance à des variétés de céréales plus résistantes aux insectes et aux maladies et aptes à se développer dans les milieux les plus difficiles.

À l'heure actuelle, le développement des biotechnologies appliquées aux animaux est plus avancé, mais on peut estimer que l'utilisation des biotechnologies dans le domaine des végétaux aura à long terme des impacts beaucoup plus considérables.

Globalement, les biotechnologies constituent une opportunité positive pour la gestion de l'environnement mais il ne faut pas en négliger les risques. Le relâchement d'organismes recombinés dans l'environnement sans contrôle suffisant peut conduire à la dissémination d'espèces dont on est incapable d'apprécier l'impact potentiel sur le milieu naturel et les organismes qui y vivent. Les biotechnologies peuvent aussi conduire à une baisse sensible de la diversité et à une colonisation de l'environnement par des espèces totalement artificielles ("cultures forestières..."). Leur développement ne pourra donc se concevoir à l'échelle européenne sans la mise en place de politiques normatives.

Le *Tableau 3.5* donne une illustration très sommaire des avantages et risques liés à quelques unes de ces nouvelles techniques appliquées à l'agriculture.

3.7.2. Nouvelles techniques énergétiques

Il est clair que l'on assistera dans les décennies à venir, à un changement important des modes de production d'énergie, ne serait ce qu'en raison des risques liés aux changements climatiques. Cependant, il n'y a pas aujourd'hui de consensus sur les systèmes énergétiques qui se substitueront à ceux qui existent actuellement, et qui permettront notamment de réduire l'utilisation des combustibles fossiles. Les coûts et les risques associés à l'énergie nucléaire ont freiné l'installation de centrales dans de nombreux pays européens, et il faudrait une multiplication par quatre ou cinq du parc actuel pour contribuer de manière significative à la réduction du CO₂, ce qui semble difficilement acceptable. L'utilisation du gaz naturel aurait beaucoup d'avantages, mais même les experts les plus optimistes considèrent que sa part dans le bilan énergétique global ne pourra dépasser 50% à la fin du prochain siècle – et cela posera des problèmes de sécurité difficiles à résoudre. Dans ces conditions, l'une des clefs d'une politique rationnelle de l'énergie en Europe restera les économies d'énergie. On estime ainsi que la demande d'énergie pourrait être réduite de 50% sans réduction du PNB grâce à des mesures efficaces de conservation de l'énergie à l'Ouest comme à l'Est de l'Europe.

Les pertes dues au transport à longue distance d'électricité pourront être réduites fortement en utilisant l'hydrogène comme moyen de transport. De

Tableau 3.5. Risques et avantages des biotechnologies appliquées à l'agriculture. (Source: T. Lavoux, IPEE, Groupe de Prospective, Min. Envt., Paris, 1987.)

Type d'application	Stade de l'application	Risque de second degré	Risque de troisième degré	Avantages
Fixation biologique de l'azote atmosphérique	2000-2015 (?)	Pathogénéicité découverte en 1977 (champignon pathogène).	Surproduction azotée. Déstabilisation des marchés céréaliers.	Economies d'engrais. Moindre pollution du sol et des nappes.
Bactéries anti-gel	Stade expérimental	Développement de souches pathogènes. Expansion des mauvaises herbes.	Changement de l'affectation des sols. Réduction des précipitations.	Gains de productivité. Annulation des pertes dues au gel hors saison.
Plantes transgéniques	Stade expérimental et applications	Expansion des mauvaises herbes par contagion	Pollution des sols et des nappes aggravée	Gains de productivité.
Croissance des végétaux sur sols salés	2000 (?)	Expansion de variétés nuisibles.	Nul	Meilleur contrôle de l'érosion. Maintien du niveau des nappes. Facteur de lutte contre la famine dans les régions désertiques.
Animaux transgéniques - hormone de croissance - hormone de lactation - vaccins	Stade expérimental	Nul	Artificialisation de la nature. Surproduction de lait et de viande. Surpâturage, érosion due au piétinement. Déstabilisation des marchés.	Gains de productivité.
Lutte intégrée - résistance aux insecticides	Stade expérimental	Pathogénéicité pour les insectes non visés.	Nul	Economies de biocides. Ne perturbe pas les biotopes.
Traitement des eaux usées par bactéries manipulées	Selon les procédés stade de l'application ou stade de la recherche	Dispersion à longue distance d'aérosols chargés en bactéries pathogènes. Fuite d'organismes recombinés.	Nul	Procédés souples et peu coûteux.
Clonage des végétaux	Stade expérimental et stade de l'application	Moindre résistance des clones aux ravageurs. Baisse de la diversité génétique.	Transformation fondamentale de la forêt (champs d'arbres). Epannage d'engrais et de biocides accru.	Gestion au mieux des intérêts de la filière bois. Economies d'échelle. Gains de productivité.
Changement de matière première Exemple de la fabrication du sucre (betteraves/céréales) ou L'agriculture au service des biotechnologies	Stade de l'application (sirop d'isoglucose)	Nul	Transformation du paysage. Diminution des espaces cultivés. Déstabilisation des marchés. Mécanisation accrue, monocultures, épannage d'engrais et de biocides accru.	Écoulement des surplus céréaliers. Gestion des céréales plus facile que celle de la betterave. Valeur diététique accrue.

Tableau 3.6. Sources d'énergie du futur: avantages et risques.

Nouvelles formes biologiques de production ou d'utilisation de la biomasse

Avantages: La production d'hydrogène et d'autres combustibles par dissociation photochimique ou photobiologique est une technique potentielle d'utilisation de l'énergie solaire. La production à grande échelle de biomasse algale semble aussi possible. Les technologies traditionnelles de production de l'éthanol à partir de céréales (betteraves, blé, sucre de canne, topinambour...) s'améliorent. L'exemple brésilien montre que la rentabilité de ces expériences est liée à des conditions économiques particulières.

Risques: Si l'utilisation de la biomasse devient une source majeure d'énergie, il sera nécessaire de reconvertir une superficie considérable de terres avec des risques d'érosion et d'appauvrissement.

Utilisation de l'hydrogène

Avantages: L'hydrogène brûlé avec de l'oxygène (sans azote) est un combustible propre, le seul produit de la combustion étant la vapeur d'eau. L'avantage de l'hydrogène est qu'il peut être utilisé dans le transport d'électricité ou de marchandises, ce qui en fait un élément de flexibilité considérable des systèmes énergétiques.

Risques: L'hydrogène est potentiellement explosif et demande pour être produit de grandes quantités d'électricité.

Supraconductivité

Avantages: Une percée dans le développement des matériaux supraconducteurs permettra de réduire considérablement les pertes d'énergie dans le transport et le stockage, avec donc des conséquences importantes sur la demande (réduction d'au moins 25%).

Inconvénients: La mise en place de technologies utilisant la supraconductivité de manière opérationnelle n'est pas envisageable avant plusieurs décennies.

Nouvelles techniques de forage: application à l'exploitation du gaz

Avantage: Si les réservoirs profonds de gaz pouvaient être exploités, les ressources exploitables seraient énormes. Un combustible à base de méthane produisant deux fois moins de CO₂ que le charbon.

Risques: Le méthane est lui-même un composant important de l'effet de serre, 35 fois plus puissant que le CO₂ (par molécule). Dans ces conditions, une fuite de 3% du méthane produit suffirait à compenser les effets positifs de la substitution gaz/charbon.

Développement de réacteurs nucléaires "sur"

Avantages: La production en série de petits réacteurs modulaires utilisant peu de combustible pourrait éviter les risques de fusion incontrôlée du cœur des centrales.

Risques: Les petites centrales produisant peu d'électricité sont actuellement peu rentables. Il ne faut pas par ailleurs sous-estimer les problèmes de radioactivité qui subsistent.

Fusion: Un développement de la fusion révolutionnerait l'ensemble du système énergétique mais aucune prévision ne permet d'en fixer la date.

même, le développement de matériaux supra conducteurs pourra permettre d'ici quelques décennies de réduire sensiblement la demande d'électricité, avant que les perspectives ouvertes par la fusion ne se matérialisent.

Le *Tableau 3.6* décrit quelques une de ces techniques avec, comme pour les biotechnologies, une comparaison sommaire de leurs avantages et de leurs risques.

3.7.3. Technologies de l'information

La microélectronique a d'ores et déjà connu de rapides développement, en contribuant largement à améliorer les performances d'autres techniques. L'intégration des technologies de l'information dans les processus industriels est cependant loin d'être terminée, et il faut donc s'attendre à la poursuite des progrès déjà réalisés en matière de miniaturisation des procédés, de "dématérialisation" de la production et de gestion des système complexes.

Jusqu'à une date récente, l'application de la microélectronique à la protection de l'environnement est restée une voie sous-exploitée. Il est probable cependant que les progrès attendus dans la miniaturisation (UCSI: very large scale integration) auront d'importante retombées sur les écotechnologies. Les capteurs utilisant ces innovations faciliteront le contrôle de la pollution et le recyclage. On peut ainsi prévoir l'extension rapide de systèmes experts couplés avec des capteurs permettant à la fois de surveiller les émissions dans le milieu et d'adapter les processus de production aux contraintes extérieures de l'environnement. Il ne faut pas cependant négliger deux conséquences possibles d'une utilisation massive de la microélectronique: la production de déchets difficilement recyclables (métaux lourds...) et la vulnérabilité à l'accident de systèmes totalement automatisés.

4. Scénarios écologiques futurs pour l'Europe

4.1. Climat

Les scénarios climatiques possibles pour l'an 2030, qui reposent sur une légère modification du climat, ont été élaborés par Lough *et al.* (1983) d'après des analogies historiques*. Les scénarios de température présentés à la *Figure 4.1* ont comme principales caractéristiques un réchauffement léger à modéré en été mais un léger rafraîchissement en hiver pour la plus grande partie de l'Europe et un léger réchauffement dans les autres régions. Les régimes d'automne et de printemps (hors figure) ressemblent à ceux de l'été.

La variabilité interannuelle de la température est une donnée statistique connexe également importante. Pour l'hiver (*Figure 4.2*), la valeur numérique de cette donnée augmente, sauf en Italie, en Grèce et dans les Balkans.

Les scénarios des précipitations et de la variabilité interannuelle des précipitations sont présentés aux *Figures 4.3* et *4.4*. On y constate une tendance générale à des étés plus secs et des hivers plus humides. Les schémas de la variabilité interannuelle sont plutôt complexes mais, d'une manière générale, la variabilité est plus importante au printemps et en automne qu'en été et en hiver. Voir, par exemple, les valeurs estivales à la *Figure 4.4*.

Des scénarios comparables en ce qui concerne l'enneigement indiquent d'une manière générale que ce phénomène sera plus prononcé en l'an 2030 (Henderson-Sellers, 1986).

Les scénarios climatiques élaborés à partir d'une forte modification du climat reposent sur des simulations obtenues du modèle général de circulation du British Meteorological Office (Mitchell, 1983), avec comme hypothèse un taux deux fois plus élevé de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Ce scénario prévoit:

- Des températures beaucoup plus élevées, c'est-à-dire plus chaudes de 4 °C en hiver en Scandinavie et dans le nord de l'URSS (*Figure 4.5*).
- Des précipitations accrues sur la moitié nord de l'Europe et une diminution de celles-ci sur la plus grande partie du sud de l'Europe (*Figure 4.6*).

Une *hypothèse contrastée non impossible* se fonde sur une spéculation de Broecker (1987):

- Des températures beaucoup plus froides à cause d'une déflexion du Gulf Stream qui frappera plutôt le nord que le centre de l'Europe.

*Lough *et al.* (1983) ont comparé les schémas de précipitations et de températures moyennes des années 1934-1953 à ceux de la période 1901-1920. Ils ont constaté que ces périodes de 20 ans ont été les plus chaudes et les plus froides depuis 1880 après en avoir les moyennes pour tout l'hémisphère nord.

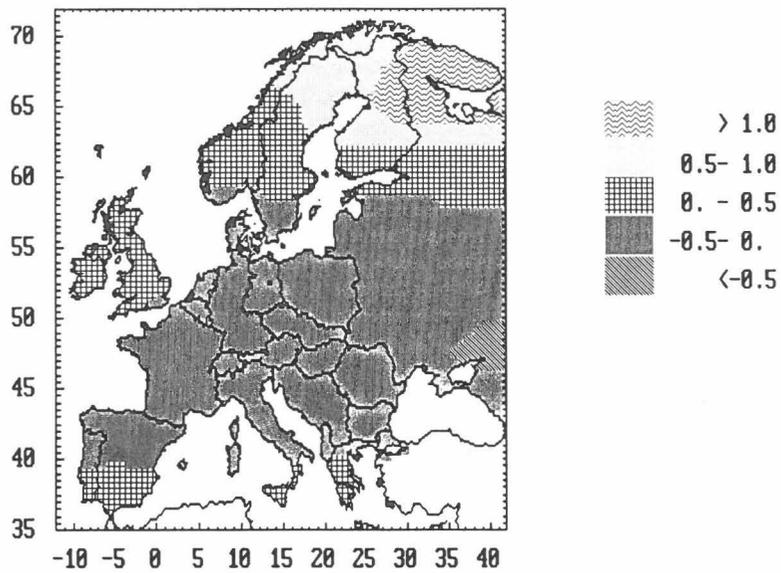
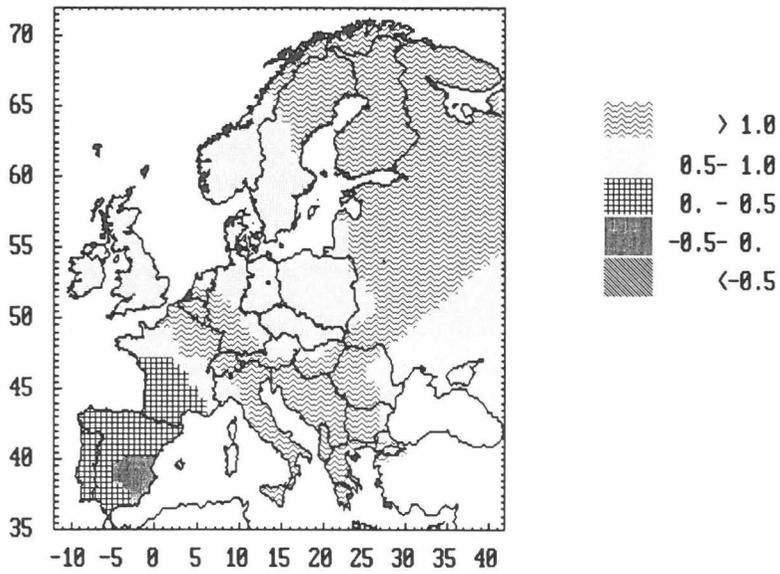


Figure 4.1. Modifications prévues de la température en été (en haut) et en hiver (en bas) (en °C) (Lough *et al.*, 1983). On remarquera que les étés sont généralement plus chauds. Les hivers sont légèrement plus frais dans la plus grande partie de l'Europe mais un peu plus chauds dans les autres régions.

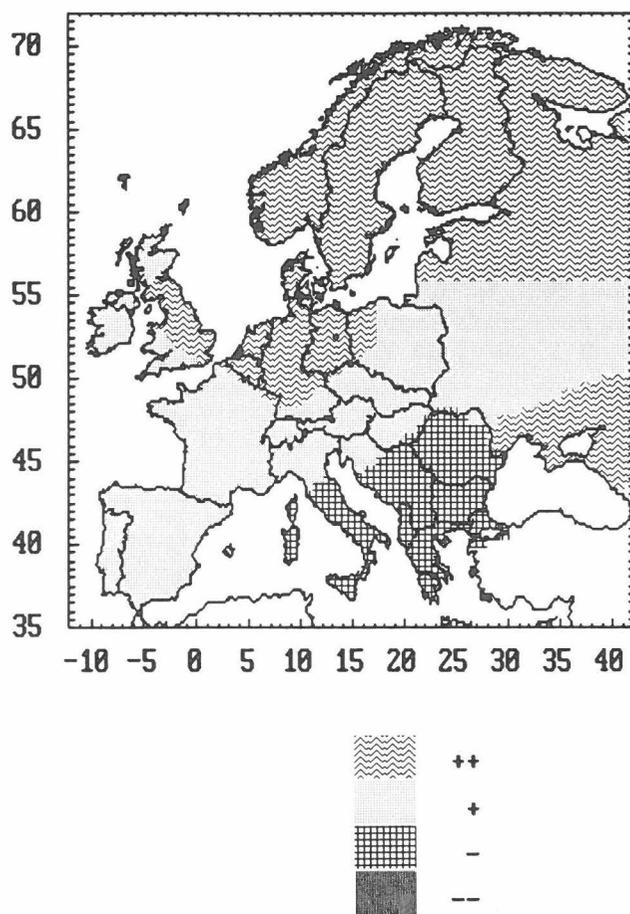


Figure 4.2. Modifications prévues de la variabilité des températures hivernales (écarts types) (Lough *et al.*, 1983). Ces modifications ne sont pas très importantes.

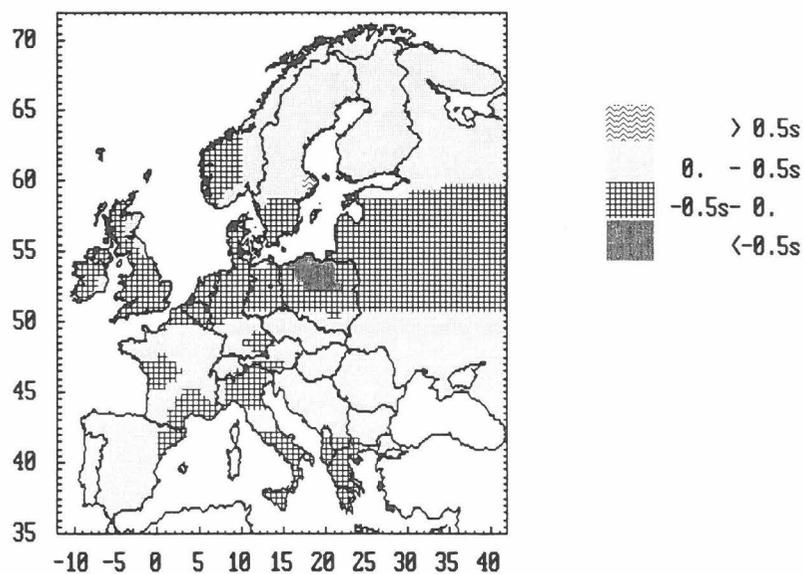
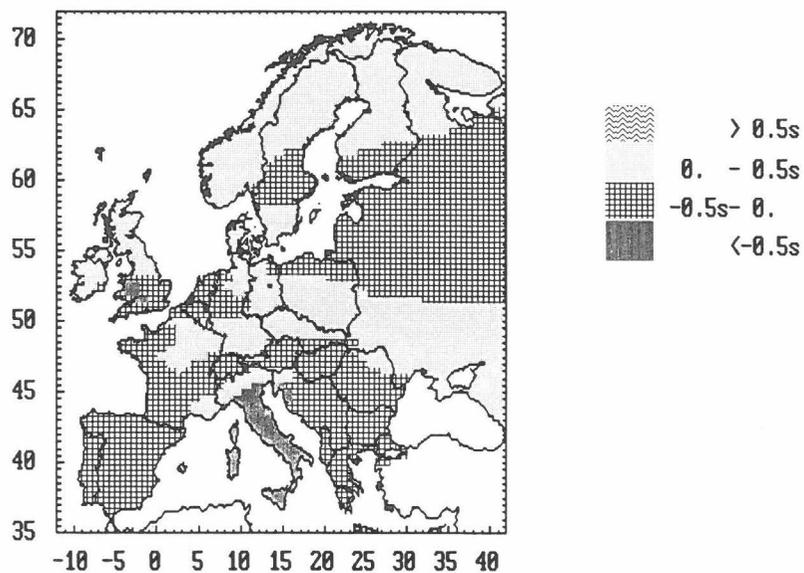


Figure 4.3. Modifications prévues des précipitations en été (en haut) et en hiver (en bas) en multiples de l'écart type (Lough *et al.*, 1983). On remarquera la tendance à des étés plus secs et à des hivers plus humides.

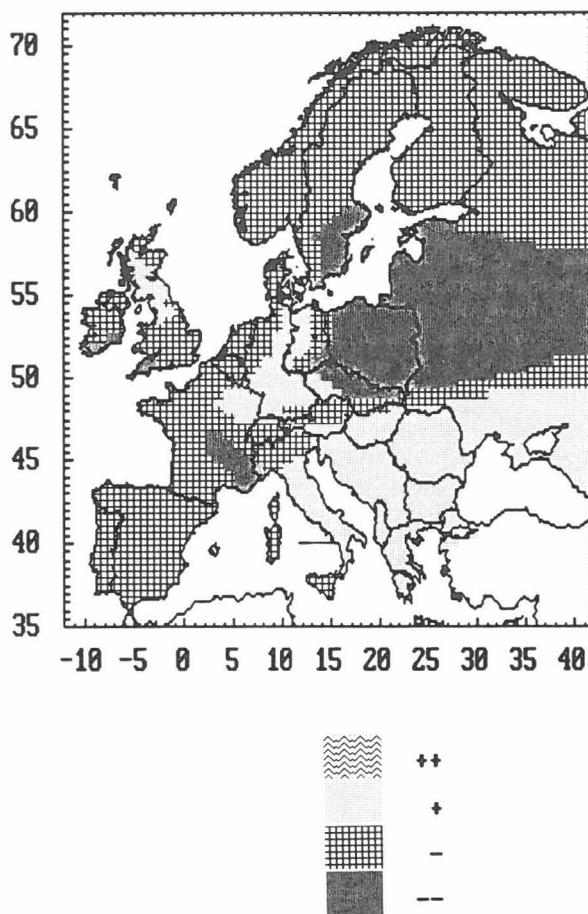


Figure 4.4. Modifications prévues de la variabilité interannuelle des précipitations estivales, d'une période froide à une période chaude (Lough *et al.*, 1983). En général, les modifications ne sont pas importantes.

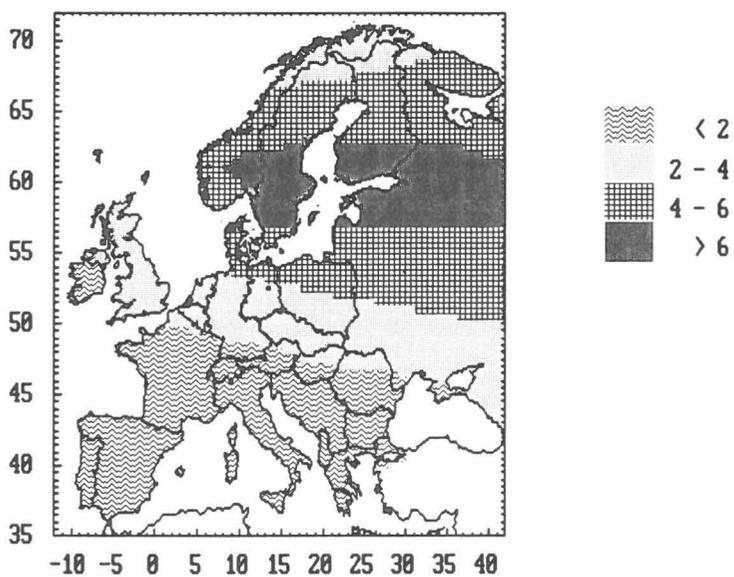
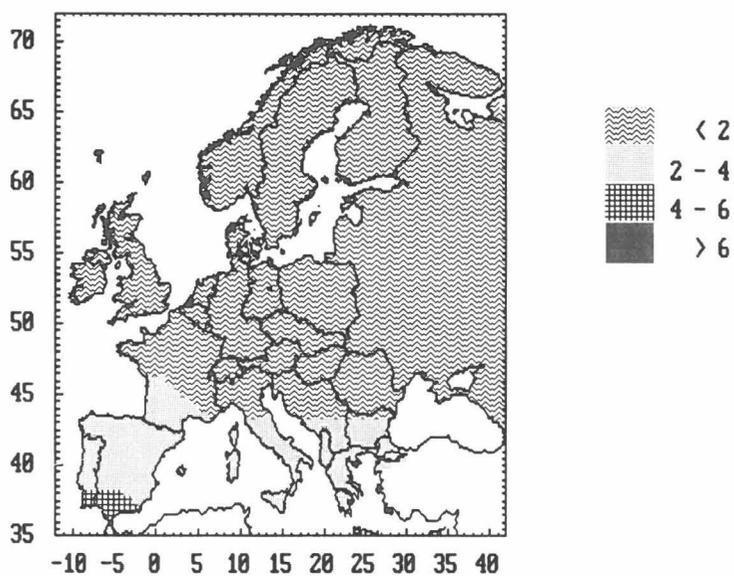


Figure 4.5. Augmentations de température prévues en été (en haut) et en hiver (en bas) par suite d'un doublement du volume des gaz provoquant l'effet de serre (en °C) (Mitchell, 1983). On remarquera le réchauffement considérable dans toutes les régions d'Europe.

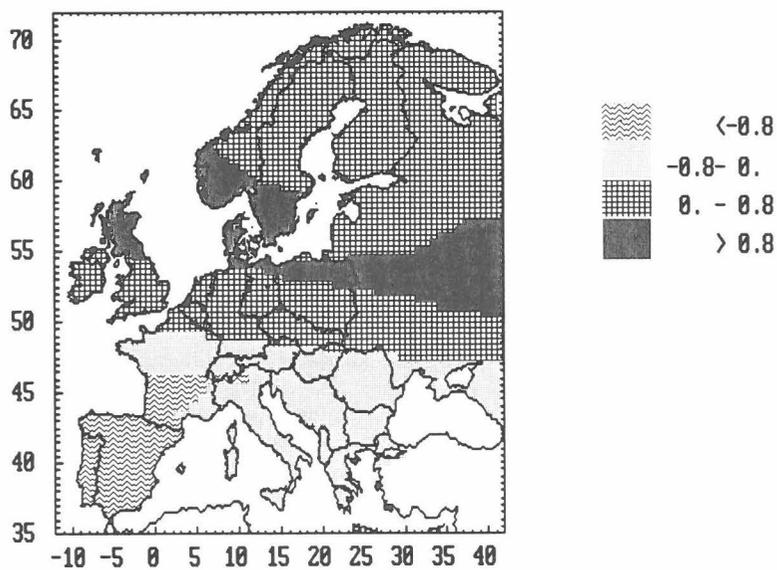
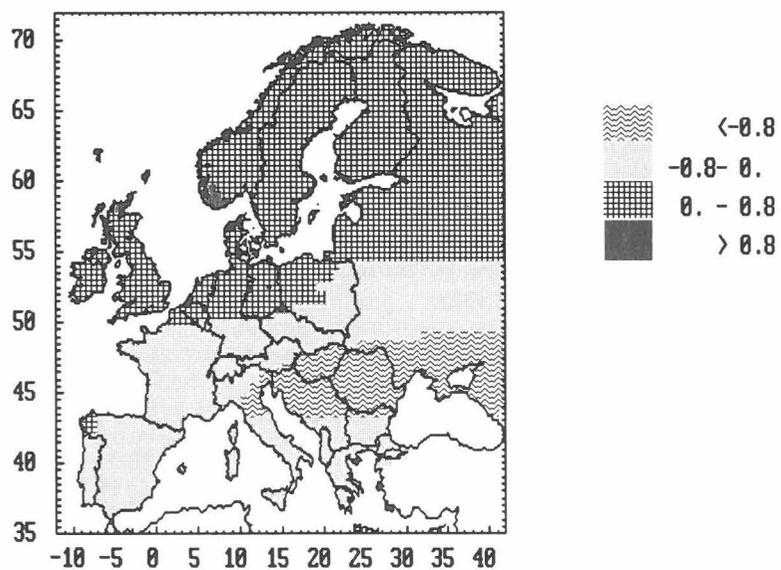


Figure 4.6. Modifications des précipitations prévues en été (en haut) et en hiver (en bas) par suite d'un doublement du volume des gaz provoquant l'effet de serre (en mm/jour) (Mitchell, 1983). On remarquera l'augmentation des précipitations sur le nord de l'Europe et leur diminution sur la plus grande partie du sud de l'Europe.

4.2. Hydrologie

4.2.1. Scénarios d'une élévation du niveau de la mer

Le réchauffement du climat provoquera une élévation globale du niveau de la mer. Les régions courant le plus grand risque sont les estuaires où se trouvent d'importantes installations industrielles de même que les riches terres agricoles (Hekstra, 1988). La *Figure 4.7* présente un scénario généralement accepté de l'ampleur de cette élévation, tandis que les points tournants sont indiqués par les courbes supérieure et inférieure (Jäger, 1988).

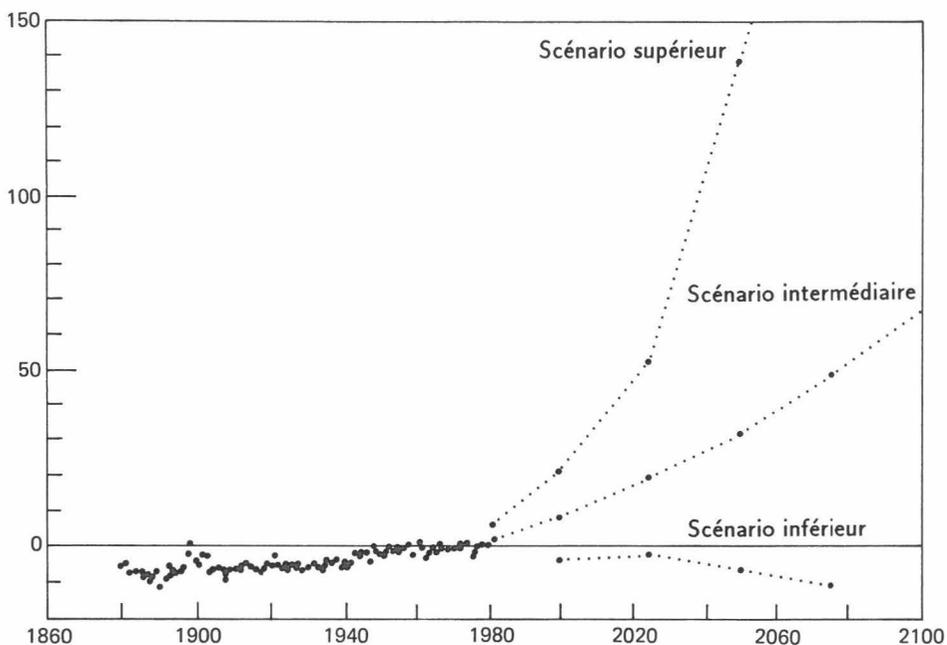


Figure 4.7. Scénarios d'une élévation globale du niveau de la mer (Jäger, 1988). Les chances que le niveau réel de la mer baisse en-deçà des chiffres indiqués dans les scénarios supérieur, intermédiaire et inférieur se situent à 90%, 50% et 10% respectivement. Comme il s'agit de valeurs globales, il est nécessaire d'évaluer les modifications locales à chaque endroit.

Voici les conséquences qui en résulteront:

- Érosion des plages et des rivages côtiers.
- Diminution des terres exploitables.
- Fréquence et gravité accrues des inondations dans les basses terres.
- Perte de dunes et de marécages côtiers.
- Pénétration de la mer dans les zones inondables de l'intérieur, affectant l'agriculture et l'eau potable.

- Resuspension des matières toxiques provenant de la sédimentation estuarienne.
- Mobilisation des matières toxiques provenant des décharges.

4.2.2. Scénarios hydrologiques plausibles

En se basant sur les scénarios de températures et de précipitations de Lough *et al.* (1983), les modifications hydrologiques en Europe pour l'an 2030 sont les suivantes:

- Printemps: plus grande évapotranspiration; précipitations moins abondantes; fonte des neiges plus hâtive au printemps.
- Été: évapotranspiration beaucoup plus importante; précipitations moins abondantes.
- Automne: plus grande évapotranspiration; précipitations plus abondantes.
- Hiver: évapotranspiration moins grande sur la plupart des pays d'Europe, mais plus importante dans les pays méditerranéens; précipitations plus abondantes.

Il y aurait donc une diminution importante nette de l'eau disponible en été dans les sols, les lacs et les fleuves et une diminution moins grande au printemps. En automne et en hiver, les conditions seraient à peu près semblables à celles qu'on connaît actuellement.

Voici *quelques-unes des hypothèses contrastées non impossibles*:

- Augmentation importante de l'évapotranspiration pendant la moitié estivale de l'année. (Voir, par exemple, Bultot *et al.*, 1988).
- Diminution importante de l'humidité des sols, plus particulièrement en été, dans le centre et le sud de l'Europe (Manabe et Wetherald, 1987).
- Diminution du débit des fleuves, particulièrement en été, dans le centre et le sud de l'Europe.
- Fréquence accrue des inondations dans le nord de l'Europe (voir, par exemple, Olejnik, 1988).
- Augmentation de la variabilité du débit des cours d'eau, particulièrement dans le nord de l'Europe. (L'augmentation de la variabilité est beaucoup plus grave qu'une diminution du débit moyen [Kaczmarek et Kindler, 1988].)
- Fonte des neiges plus hâtive au printemps dans les Alpes. [La limite des neiges perpétuelles en été remontera d'environ 180 mètres par °C de réchauffement (RIVM, 1988).]
- Fonte éventuelle des glaciers et du pergélisol (RIVM, 1988).
- Allongement de la période sans glace des lacs et des mers. [La période de congélation des lacs en Finlande diminuerait de 40 à 60 jours (Kuusisto, 1988).]
- Allongement de la saison de navigation dans l'océan Arctique.

- Perte d'attrait de certaines stations hivernales populaires.
- Modification du schéma de la circulation de l'eau dans la mer Méditerranée par suite d'une modification des températures de l'eau et des zones de vent, entraînant un appauvrissement en oxygène et une nouvelle productivité biologique (Zavatarelli, 1988).

Selon les scénarios hydrologiques et les points tournants énumérés ci-avant, les ressources en eau pourraient diminuer dans quelques régions d'Europe au cours des 30 à 50 prochaines années, surtout dans la moitié sud du continent. Toutefois, la consommation d'eau risque de ne pas augmenter énormément pendant cette période si le prix à l'utilisation augmente. [Entre 1970 et 1980, le prix de l'eau dans les pays de l'OCDE a connu une hausse de 100% à 200% (Theys, 1987).] Trois pays (Belgique, Pologne et RDA) éprouvent déjà des difficultés puisqu'ils doivent approvisionner plus de 500 habitants à partir d'un débit d'un million de mètres cubes d'eau par année. Dans ces pays, la quantité d'eau annuelle disponible par habitant varie de 1 200 m³ à 1 600 m³, c'est-à-dire la quantité d'eau à laquelle pourraient avoir accès les ménages et une multitude d'activités agricoles et industrielles. Il est évident qu'au sein de chaque pays, la disponibilité locale dépend de l'accès aux réservoirs de crue, aux systèmes de puits, etc. Certains pays méditerranéens connaissent également une pénurie d'eau pendant la saison de culture.

La *Figure 4.8** compare les fluctuations nationales des ressources en eau et de la population par rapport aux niveaux actuels et à ceux de l'an 2030, année où devrait être survenue une modifications climatique marquée. (Voir les *Figures 4.5 et 4.6.*)

Les pays éprouvant des problèmes d'approvisionnement d'ici à l'an 2030 pourraient également comprendre non seulement la Belgique et la Pologne mais également la Grèce, l'Espagne et l'Italie. Beaucoup d'autres pays jugeront nécessaire d'améliorer leur programme de gestion des eaux. Seuls l'Autriche et les pays scandinaves s'attendent à un excédent de leurs ressources.

4.3. Pollution atmosphérique et acidification régionale

(a) Émissions

Les *Figures 4.9 et 4.10* présentent les scénarios des émissions de SO₂ en Europe en comparaison de celles de CO₂. Le scénario énergétique classique est décrit à la Section 3.3. Malgré l'augmentation prévue de la production d'énergie au cours des 50 prochaines années, on note que les émissions de SO₂ et de CO₂ ne devraient pas augmenter radicalement, situation attribuable à une adoption plus généralisée de moyens de lutte contre les émissions de SO₂ et à une plus grande

*Il convient de souligner que cette figure ne tient aucunement compte de la qualité de l'eau qui, si elle diminue, représentera un autre facteur restrictif à la disponibilité en eau. Ainsi, l'élévation du niveau de la mer (provoquant une intrusion de l'eau salée) pourrait rendre impropre à la consommation humaine la plus grande partie des nappes phréatiques situées dans les basses terres côtières.

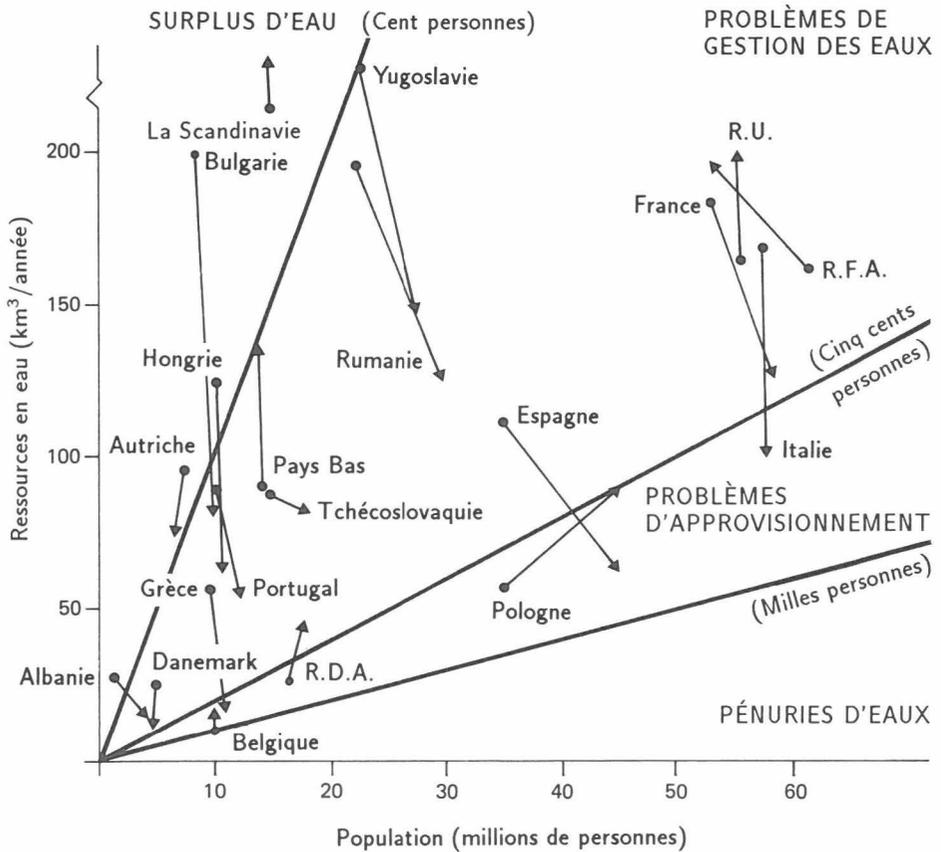


Figure 4.8. Variations hydrologiques dans divers pays selon le modèle de circulation générale d'un volume double de CO₂ du British Meteorological Office et les projections démographiques des N.-U. pour l'année 2025 (Nations Unies, 1986). Source: Brouwer et Falkenmark (1988).

utilisation du gaz naturel. Les autres courbes exposées aux Figures 4.9 et 4.10 représentent les émissions provenant des *points tournants non impossibles* décrits à la Section 3.3.

- S'il y a substitution de l'énergie nucléaire par le charbon, les émissions de SO₂ et de CO₂ augmenteront [courbes (a)].
- Si l'on parvient à surmonter la résistance du public à l'énergie nucléaire après l'an 2000, l'utilisation accrue de cette forme d'énergie diminuera fortement les émissions de SO₂ et de CO₂ [courbes (b)].
- Une consommation accrue de gaz naturel provenant de puits profonds sous la terre pourrait remplacer à la fois l'énergie nucléaire et le charbon et diminuerait énormément les émissions de SO₂. La diminution négligeable des émissions de CO₂ serait inférieure à celle du SO₂ étant donné que le gaz naturel renferme toujours une certaine quantité de carbone [courbes (c)].

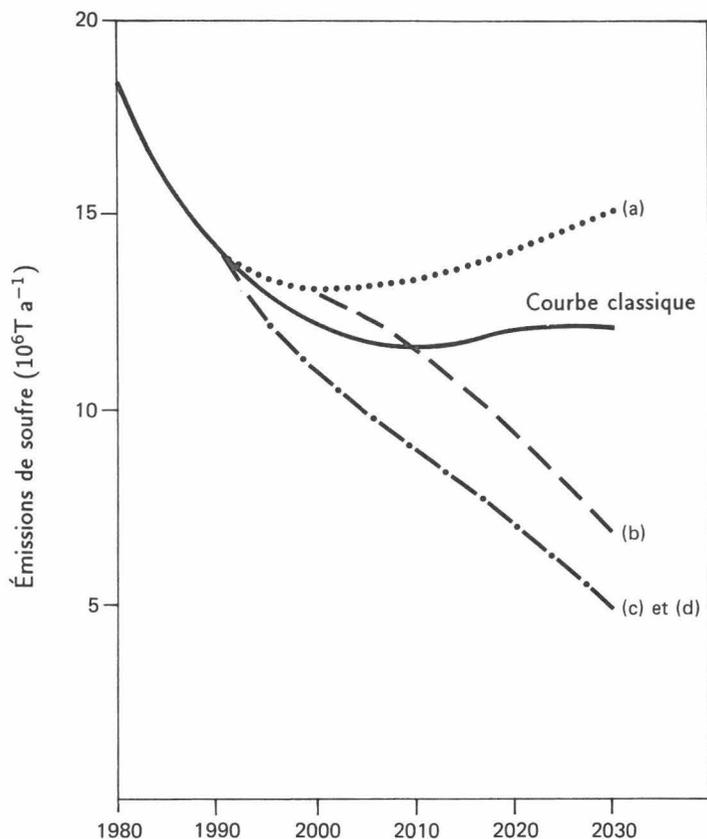


Figure 4.9. Scénarios des émissions de soufre (en 10^6 tonnes/an) en Europe jusqu'à l'an 2030. La courbe classique est calculée d'après le scénario donné au Tableau 3.1. Courbe (a): énergie nucléaire remplacée par le charbon. Courbe (b): utilisation accrue de l'énergie nucléaire. Courbe (c): utilisation accrue du gaz naturel provenant de puits profonds. Courbe (d): système énergétique à base d'hydrogène.

- Si le système énergétique devient en grande partie basé sur l'hydrogène, les émissions de SO_2 et de CO_2 pourraient toutes deux diminuer fortement [courbes (d)] à la condition que les combustibles utilisés dans la production de l'hydrogène ne renferment ni soufre ni carbone.
- Quels que soient les divers combustibles fossiles utilisés, la mise au point de moyens de capture du CO_2 permettra de diminuer les émissions de ce gaz.
- Les percées technologiques visant à augmenter l'efficacité du transport et de l'utilisation de l'énergie permettront de diminuer les émissions paraissant aux Figures 4.9 et 4.10 d'autant que 20% en 2015 et 40% en 2030.
- La mise en oeuvre du scénario "d'énergie solaire dure", expliqué à la Section 3.3, afin d'atteindre un approvisionnement énergétique durable en Europe pourrait, dès l'an 2100, faire diminuer d'environ 40% les émissions

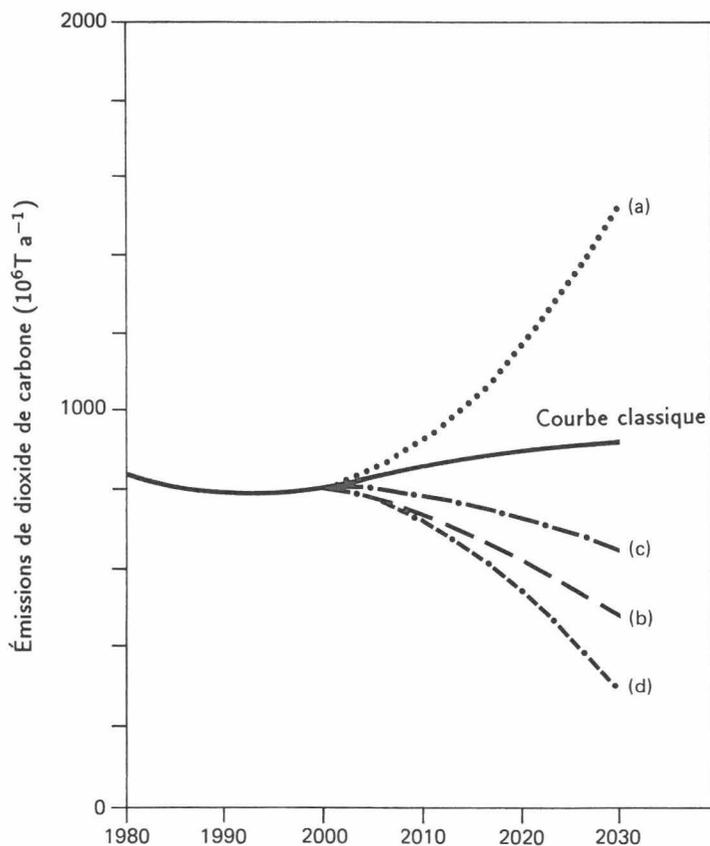


Figure 4.10. Scénarios des émissions de dioxyde de carbone (en 10^6 tonnes/an) en Europe jusqu'à l'an 2030. Courbe (a): énergie nucléaire remplacée par le charbon. Courbe (b): utilisation accrue de l'énergie nucléaire. Courbe (c): utilisation accrue du gaz naturel provenant de puits profonds. Courbe (d): système énergétique à base d'hydrogène.

de CO_2 par rapport à celles de la période 1975-1980. Le scénario de "l'énergie solaire douce" se solderait par une diminution de plus de 60% des émissions de CO_2 . Dans les deux cas, il y aurait élimination presque totale des émissions de SO_2 .

(b) Dépôts de soufre

On peut recourir au modèle RAINS de l'IIASA (Alcamo *et al.*, 1987) pour évaluer les dépôts de soufre si l'on connaît la zone d'émissions. Utilisant ce modèle pour le SO_2 , les Figures 4.11 et 4.12 présentent les schémas de dépôts sulfureux en l'an 2030, d'après les hypothèses de la Figure 4.9, courbes (a) et (c)/(d). Si l'on délaisse l'énergie nucléaire pour le charbon, les dépôts de soufre

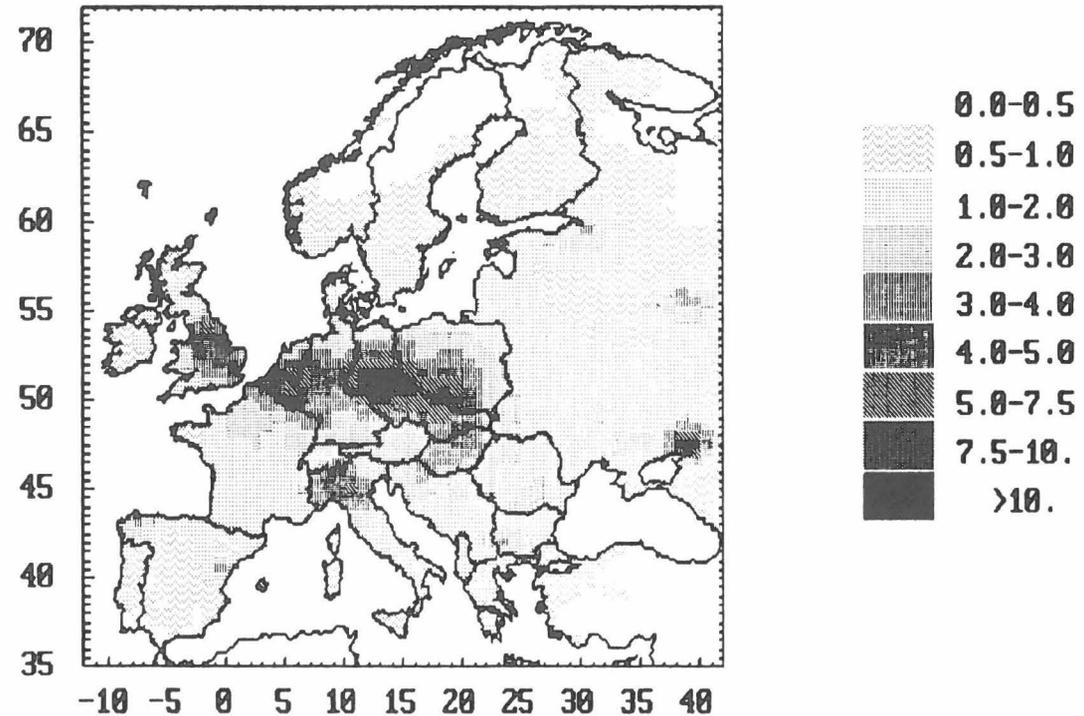


Figure 4.11. Dépôts totaux de soufre ($\text{g}/\text{m}^2/\text{an}$) en l'an 2030 provenant des émissions de SO_2 , en supposant un remplacement de l'énergie nucléaire par le charbon, courbe (a) de la Figure 4.9. Les charges critiques des dépôts de soufre seront dépassées sur la plus grande partie de l'Europe.

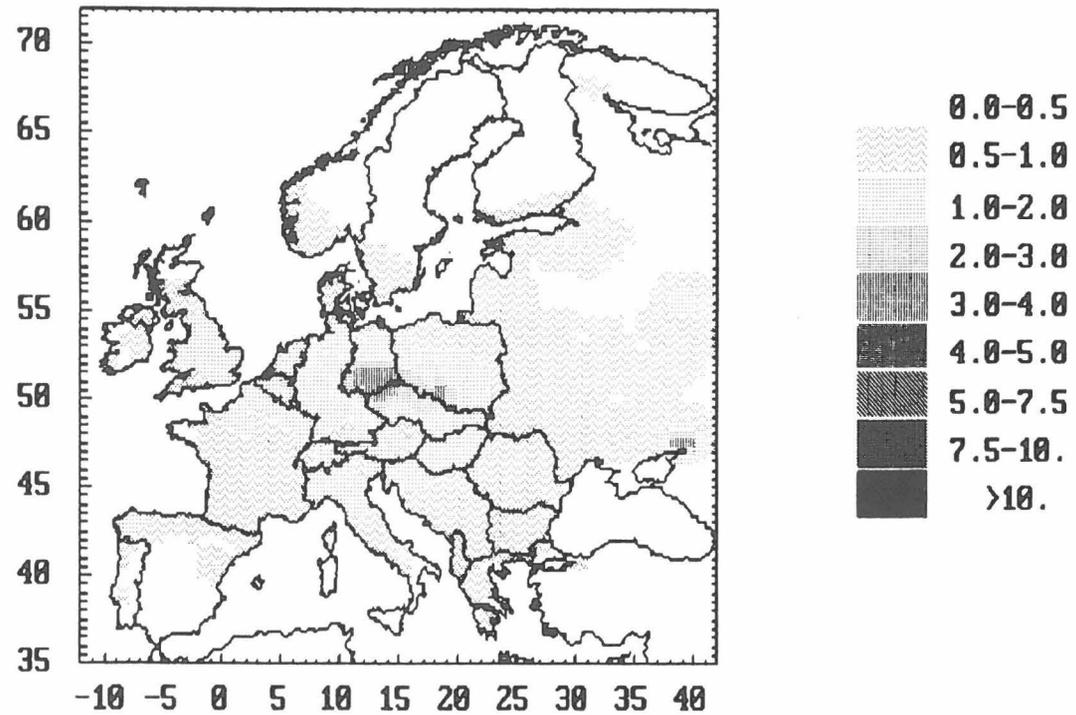


Figure 4.12. Dépôts totaux de soufre ($\text{g}/\text{m}^2/\text{an}$) en l'an 2030 provenant d'émissions de SO_2 , en supposant une augmentation de la consommation de gaz naturel provenant de puits profonds, ou un système énergétique à base d'hydrogène, courbes (c)/(d) de la Figure 4.9. Les charges critiques seraient dépassées dans une région beaucoup plus restreinte qu'à la Figure 4.11.

dépassent 10g S/m²/an dans le centre de l'Europe et 1g S/m²/an dans la plupart des autres régions de l'Europe. Il conviendrait de comparer ces valeurs aux charges critiques de soufre dans les écosystèmes aquatiques sensibles et dans les sols forestiers, qui seraient aussi peu que 0,3 à 1,5g S/m²/an. Il semblerait que les charges critiques seront dépassées pour la plus grande partie de l'Europe.

La *Figure 4.12* révèle que si le système énergétique reposait davantage sur le gaz naturel ou l'hydrogène (dont la production, dans ce dernier cas, se ferait sans l'apport de combustibles à teneur en soufre), les dépôts maximums diminueraient à 3-4g S/m²/an et les charges critiques n'atteindraient une valeur excédentaire que dans une région beaucoup plus petite qu'en (a) ci-dessus.*

(c) Ozone

Depuis les deux dernières décennies, les concentrations d'ozone de surface augmentent en Europe et la tendance se poursuivra (Feister et Warmbt, 1987; Darmstadter *et al.*, 1987). À mesure que les étés deviendront plus secs et plus chauds, le recours à la climatisation augmentera sans doute et fera grimper la consommation d'énergie et les émissions d'oxydes d'azote. On observera plus fréquemment et avec une plus grande intensité des épisodes de fortes concentrations d'ozone pendant l'été (Darmstadter *et al.*, 1987). De fait, voici ce que donnerait une prévision des projections non impossible:

	Valeurs réelles				Projections	
Année	1890	1920	1950	1980	2030	2080
O ₃ (ppb)	10	20	35	55	130-180	130

Ces projections s'appuient sur quelques simulations du modèle de Brühl et Crutzen (1988) qui prévoient que les concentrations moyennes actuelles d'ozone dans la troposphère au-dessus de l'hémisphère nord pourraient doubler d'ici au milieu du XXI^e siècle.

(d) Oxydes d'azote (NO_x)

Les oxydes d'azote sont des précurseurs de l'acide nitrique qui est un des composants des pluies acides et ils participent à la formation de l'ozone troposphérique. Dans ces conditions, on peut s'attendre à ce que l'accroissement des concentrations d'oxyde d'azote aggrave les problèmes associés à l'acidification et au smog photochimique. La *Figure 4.13* indique ce que pourrait être l'accroissement de ces concentrations, et donc des émissions de NO_x en Europe en fonction de trois scénarios alternatifs de développement des transport, qui seront, à l'évidence, une source croissante de ces émissions dans le décennies à venir [voir la Section 3.4(b)].

*Ces projections ne tiennent pas compte des conséquences des dépôts d'azote ni du fait que la sensibilité des récepteurs (et donc la charge critique) fluctue d'un endroit à l'autre en Europe. De plus des zones de vent et de précipitation en 2030 devraient être semblables à celles de 1980.

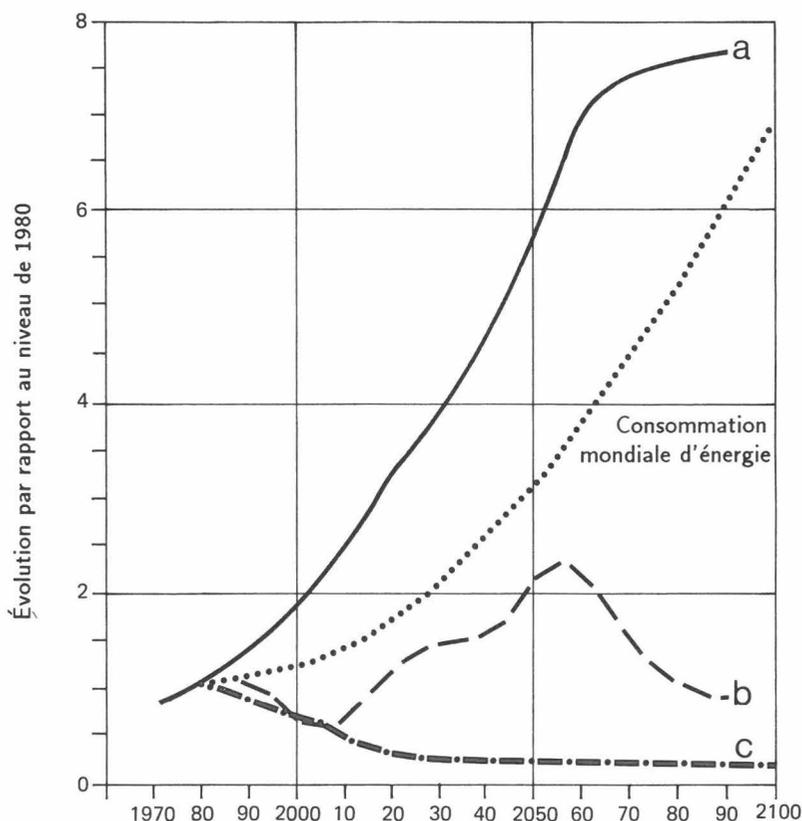


Figure 4.18. Trois scénarios d'évolution des émissions européennes de NO_x dues aux transports d'ici l'an 2100 (Wandel, 1988).

Le scénario (a), de *croissance tendancielle sans contrôle*, repose sur les deux hypothèses suivantes:

- Une croissance annuelle de trafic routier de 8% par an et du trafic aérien de 5%.
- Une réduction des émissions par passager/km et par tonne/km de 60% d'ici 2050.
- Dans ce scénario, qui n'est pas du tout invraisemblable, les *émissions de NO_x seraient multipliées par 8 d'ici la fin du siècle prochain; le transport aérien y contribuant pour plus de 60% dès l'an 2050.*

Le scénario (b), d'adaptation progressive des crises successives repose sur une hypothèse d'évolution plus modérée des transports (1% de croissance par an d'ici l'an 2000 et 2% après) ainsi que sur la mise en oeuvre d'une stratégie en trois temps:

- Installation en 1990 de pots catalytiques à trois voies sur toute les voitures neuves et réduction de 40% des émissions de NO_x sur tous les camions à moteur diesel – permettant d'équiper globalement 50% du parc en techniques propres d'ici l'an 2000.
- A partir de 2020, conversion des moteurs actuels vers des moteurs utilisant des combustibles plus propres (comme le méthane).
- A partir de 2050, introduction de technologies utilisant l'hydrogène ou d'autres types de combustibles n'émettant pas de NO_x pour faire face aux problèmes posés par les changements climatiques et les émissions de CO_2 dues au méthane.
- On constate que dans ce scénario, les émissions de NO_x augmentent de 2,5 fois d'ici l'an 2060, avant de se stabiliser au niveau de 1980 un peu avant la fin du siècle prochain.

Le scénario (c) (“*de développement économiquement et écologiquement soutenable*”) part de la même hypothèse de croissance du trafic que dans le scénario (a) mais présume que les technologies de réduction des émissions les plus modernes pourront être mises en place le plus rapidement possible. Le calendrier suivant est envisagé:

- En 1990, un projet européen de recherche développement est lancé pour développer des systèmes de conversion et de stockage de l'énergie dix fois plus propres que les pots catalytiques. (Les moteurs à combustion externe ou à cycle Rankine, les cellules photoélectriques, les accumulateurs à pression ou piles à combustibles sont quelques unes des solutions possibles.)
- D'ici 2010, le trafic routier et le trafic aérien triple. Environ 50% des véhicules routiers ont des moteurs “écologiques” et utilisent des systèmes de guidage “interactif”. L'emploi accru de trains à containers roulant à grande vitesse et disposant de terminaux automatiques réduit les transports routiers de marchandise sur les longues distances.
- En 2020, commence la construction en Europe d'un réseau de transports souterrains automatiques utilisant la “levitation magnétique” (MAGLEV). Des véhicules à grande vitesse sont utilisées pour les déplacements entre grandes villes. Grâce notamment à ces infrastructures, la voiture privée continue cependant à dominer dans les transports de proximité et l'avion sur les très longues distances.
- D'ici 2050, l'hydrogène est utilisée dans la majorité des systèmes de transport aériens et la plupart des routes et voitures sont équipées de systèmes de pilotage automatique.

Globalement, la mise en oeuvre de ces technologies nouvelles permet de réduire de plus d'un facteur 2 les émissions de NO_x à partir de 2010 et ceci de manière durable jusqu'à la fin du siècle. (Voir la *Figure 4.13*).

4.4. Qualité des sols

4.4.1. Acidification (épuisement de la capacité tampon du sol)

Le modèle secondaire des sols forestiers de RAINS prend en compte les variations géographiques de sensibilité à l'acidité. Les *Figures 4.14* et *4.15* comparent l'acidité des sols forestiers de dix pays d'Europe centrale en l'an 2030 pour les courbes d'émissions (a) et (c)/(d) de la *Figure 4.9*. Les figures prennent la forme d'histogrammes du pourcentage des régions dont le pH se situe à l'intérieur des échelles précisées pour chaque pays ainsi que pour les six pays ensemble (à la droite de la carte). Les histogrammes sont fortement prononcés pour le scénario "classique" et un peu moins pour les autres.

D'ici à l'an 2030, le scénario "classique" indique que 35 % des sols forestiers des six pays présenteront un pH inférieur à 4,0, 50% des sols auront un pH entre 4,0 et 4,3 et 10 %, entre 4,3 et 4,5. C'est en RDA (75 %) suivie de la Pologne, de la Tchécoslovaquie et de l'Autriche (45%-50 %) qu'on trouvera le plus de sols forestiers ayant un pH inférieur à 4,0.

Le scénario non tendanciel (a), lequel prévoit l'élimination progressive de l'énergie nucléaire, entrainera une légère augmentation de la superficie des sols forestiers affichant un pH inférieur à 4,0 (entre 35% et 40% dans les six pays), une diminution correspondante de la superficie des sols ayant un pH entre 4,0 et 4,3 et très peu de changements dans les sols dont le pH se situe entre 4,3 et 4,5 (*Figure 4.14*). Il ne devrait y avoir que peu de changements en Autriche et en Tchécoslovaquie.

Si le système énergétique devait fonctionner au gaz naturel ou à l'hydrogène [scénarios (c) et (d) d'évolution des émissions], le changement serait davantage prononcé (*Figure 4.15*). On notera que dans cette dernière figure, on a élevé l'échelle des pH par rapport à celle de la *Figure 4.14* afin de tenir compte de cette amélioration. Dans les six pays, le pourcentage de sols forestiers ayant un pH inférieur à 4,0 passerait de 35% à 15%, tandis que le pourcentage de ceux affichant un pH entre 4,0 et 4,3 augmenterait, de 50% à 70%. Tous les pays, sauf l'Autriche, connaîtraient des modifications importantes.

4.4.2. Accumulation et libération future de matières toxiques

Il peut s'accumuler diverses matières toxiques dans le sol ayant une origine multiple: émissions industrielles, utilisation de combustibles fossiles, utilisations finales dispersées de certains produits de consommation (comme l'amiante dans les isolants et les freins d'automobile; le plomb dans l'essence), corrosion des structures urbaines, compost mêlé à de la boue contaminée, lessivage provenant de décharges ou encore, résidus d'incinération de déchets solides renfermant ce genre de matières.

L'accumulation de matières toxiques dans les sols agricoles préoccupe énormément à cause de la possibilité que ces matières soient transférées dans les cultures. Par exemple, outre les sources énumérées ci-dessus, l'application d'engrais au phosphate laisse des traces de cadmium dans les végétaux cultivés.

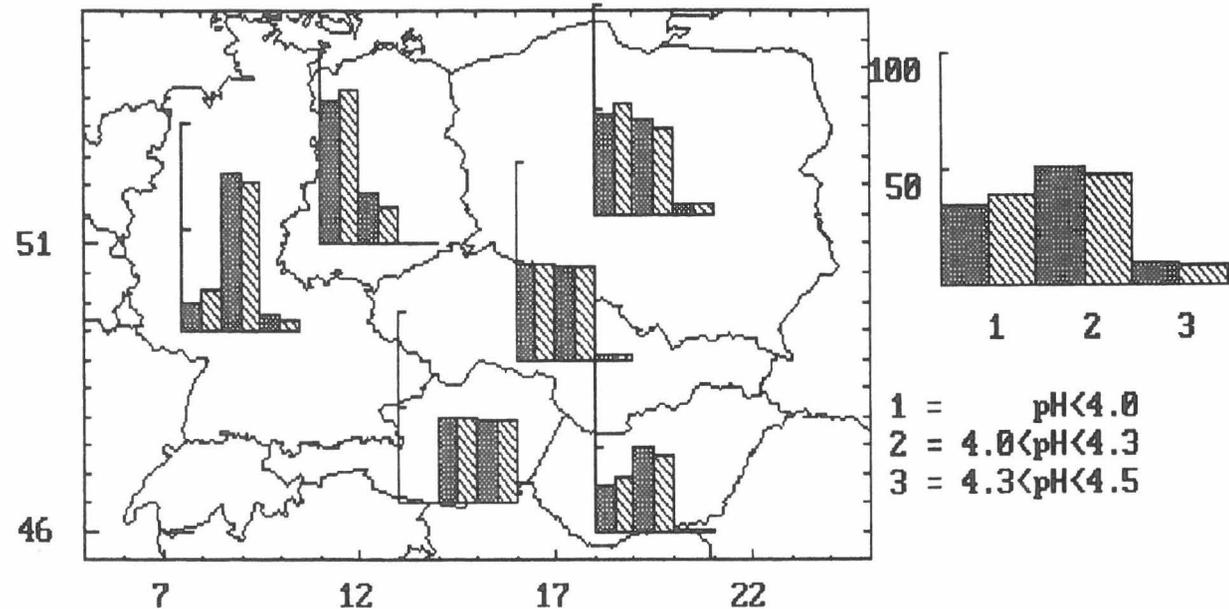


Figure 4.14. Pourcentage des sols forestiers en Europe centrale en l'an 2030 dont le pH se situe dans les échelles spécifiées, selon les prévisions du modèle RAINS de l'IIASA appliquées à deux scénarios: les histogrammes foncés illustrent la répartition des sols en fonction du "scénario classique" alors que les histogrammes pâles supposent une substitution de l'énergie nucléaire par le charbon. Les histogrammes sont présentés pour chaque pays tandis que celui à droite de la carte est un histogramme global.

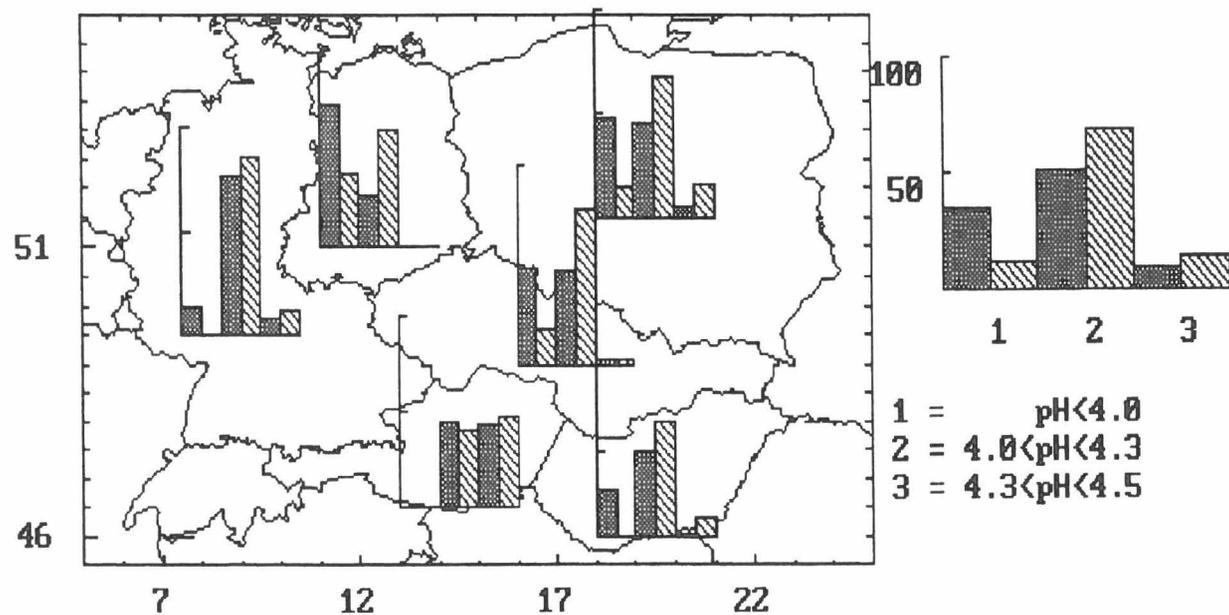


Figure 4.15. Comme à la Figure 4.14, sauf que les histogrammes pâles représentent les répartitions basées sur une utilisation accrue du gaz naturel ou de l'hydrogène dans la production d'énergie. À cause de l'amélioration marquée découlant de ce scénario, les histogrammes ont des échelles plus élevées que celles de la Figure 4.14.

Bien que les concentrations actuelles de ce produit dans les cultures en Europe semblent bien en-deçà des niveaux dangereux pour la consommation humaine (sauf pour certains points "noirs" locaux), les accumulations au cours des décennies à venir pourraient faire augmenter les concentrations au-delà des niveaux considérés comme surs. Les projections de la consommation quotidienne de cadmium dans la Communauté européenne pendant les 100 prochaines années font ressortir la gravité potentielle de ce problème, *Tableau 4.1* (Hutton, 1982):

Tableau 4.1. Consommation ($\mu\text{g}/\text{jour}$) actuelle et future dans l'alimentation au Royaume-Uni et au Danemark, selon deux scénarios de concentration du cadmium dans les plantes.

<i>Pays</i>	<i>1980</i>	<i>2080 (faible)</i>	<i>2080 (élevée)</i>
R.-U.	21	30	57
Danemark	30	42	79

Ces niveaux prévus d'ingestion sont des moyennes : par conséquent, l'ingestion pour un pourcentage donné de la population de la CEE pourrait dépasser le niveau tolérable (entre 57 et 71 $\mu\text{g}/\text{jour}$) recommandé par l'OMS.

Lorsque les métaux lourds peuvent être rendus mobiles, leur danger pour la biosphère augmente énormément. L'un des principaux facteurs qui touchent cette mobilité est l'acidification. Le problème vient du fait qu'à mesure qu'il y a acidification des sols, leur capacité d'absorber des métaux lourds toxiques, comme le cadmium et le mercure, diminue fortement et, à cause de leur mobilité accrue, ces métaux sont transférés dans les plantes ou dans les cours d'eau locaux par lessivage. Outre ces métaux provenant de sources anthropiques, d'autres à l'état naturel, comme l'aluminium, commencent à être lessivés des sols dont le taux d'acidité est compris entre 4,0 et 4,3.

Dans les sols agricoles, l'une des grandes causes d'acidification sont les engrais azotés sous forme d'ammonium. Les sols agricoles ont tendance à devenir acides lorsqu'on interrompt le chaulage qui maintenait leur taux d'acidité à environ 6,0. L'un des scénarios de rupture possible est l'abandon des terres agricoles marginales au cours des décennies à venir, qui pourraient représenter, en Europe de l'Ouest, près de 20% de toutes les terres agricoles actuelles. Dès que le chaulage sera interrompu, ces terres pourront s'acidifier rapidement (Stigliani, 1988). Étant donné que certaines de ces régions ont déjà reçu de grandes quantités de métaux lourds, une baisse du pH, peut-être à 5 dans les sols argileux et à 4,5 dans les sols sablonneux, pourrait libérer des métaux lourds, des pesticides et d'autres matières toxiques dans les eaux de surface et souterraines.

4.4.3. Saturation des terres agricoles par le phosphore

À l'encontre des engrais azotés qui sont lessivés assez rapidement par le sol, le phosphore s'accumule pendant une longue période jusqu'à un point de saturation. À ce moment, tout ajout de phosphore provoquera un lessivage rapide dans

les eaux de surface et souterraines. Cela pourrait donc devenir un point de rupture assez grave dans certaines régions d'Europe si les taux actuels d'épandage de phosphore se maintiennent.

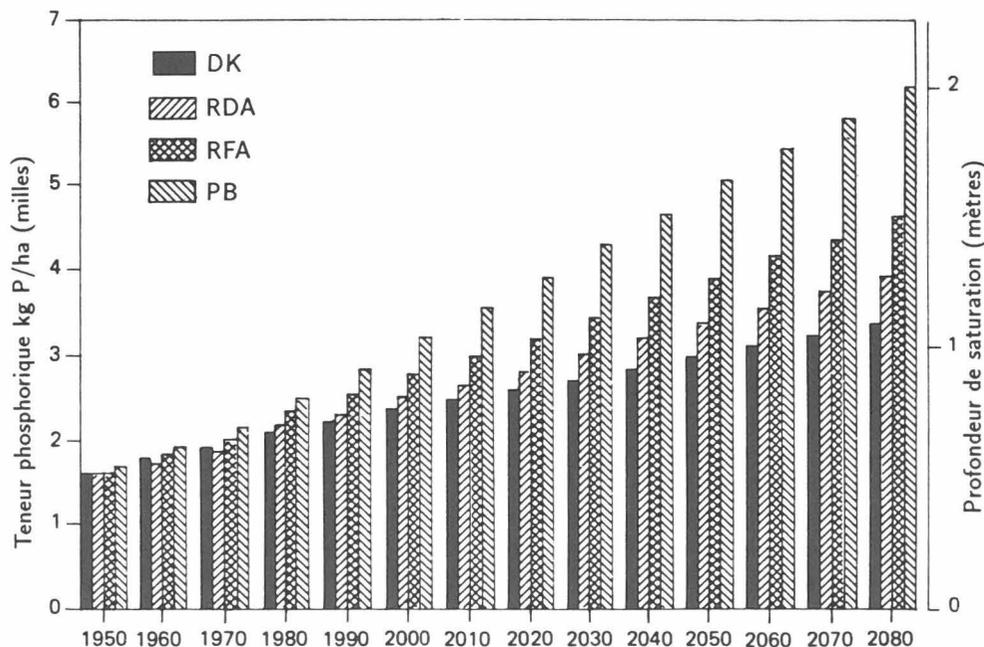


Figure 4.16. Modifications prévues de la teneur phosphorique des sols entre 1950 et 2080 au Danemark (DK), en République démocratique allemande (RDA), en République fédérale allemande (RFA) et aux Pays-Bas (PB). L'échelle de droite indique la profondeur de saturation en supposant une capacité d'adsorption de 30 kg P/ha/cm. Les estimations reposent sur l'hypothèse que l'épandage de phosphore dans l'avenir se fera aux mêmes taux que pour la période 1980 à 1985. Source: Behrendt, 1988.

La Figure 4.16 présente les tendances historiques et les scénarios plausibles à l'égard du contenu phosphorique des sols agricoles dans quatre pays européens; on suppose que les taux d'épandage de phosphore de 1980-1985 se poursuivront (Behrendt, 1988). À l'heure actuelle, la plupart des sols en Europe ne présentent aucune saturation par les phosphates, si ce n'est principalement quelque 20 000 hectares de terres agricoles dans les Pays-Bas où il y a épandage de grandes quantités de fumier. (Voir la Figure 4.17.) Cependant, si la situation se maintient pendant plusieurs décennies ou même un siècle, il pourrait y avoir saturation des sols agricoles de ces pays dans les deux premiers mètres de profondeur.

Dès qu'il y a libération du phosphore, l'eutrophisation des cours d'eau et des lacs devient une menace réelle. (En 1984-1985, on a épandu en Europe plus de 3,5 millions de tonnes de phosphore sous forme d'engrais, comparativement à 0,7 million de tonnes sous forme de détergents.) Les sols les plus vulnérables sont ceux ayant une faible capacité d'adsorption par le phosphore et les nappes phréatiques élevées.

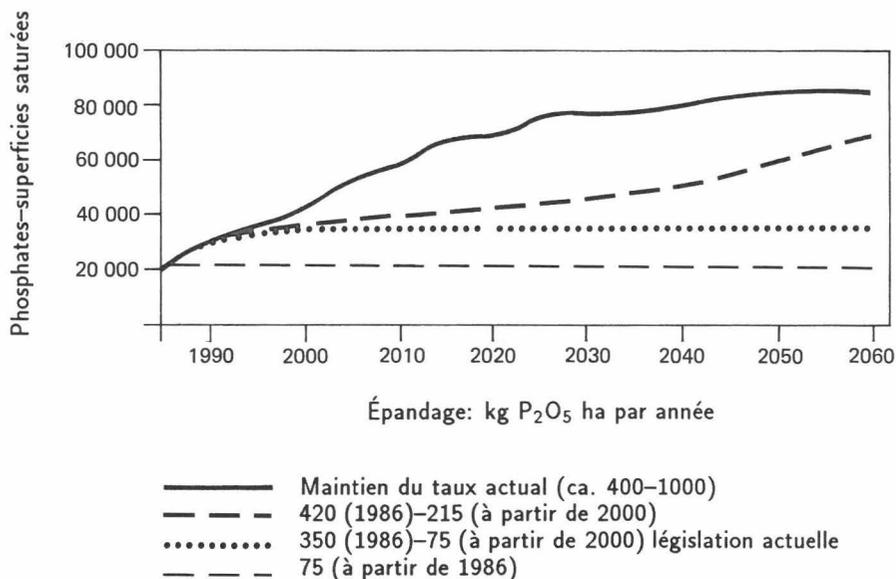


Figure 4.17. Augmentation à long terme des superficies de terres à maïs saturées par les phosphates aux Pays-Bas, selon quatre scénarios d'épandage de phosphates. Source: Breeuwsma et Schoumans, 1987.

À l'heure actuelle, le cycle du phosphore dans les écosystèmes forestiers est bien équilibré de sorte qu'une transformation des terres agricoles en forêts serait bénéfique aux sols qui sont vulnérables au phosphore apporté par les eaux de lessivage. Toutefois, si l'on devait augmenter les rendements des cultures dans le reste des terres agricoles afin de maintenir la productivité agricole globale, il pourrait y avoir augmentation de phosphore et une saturation beaucoup plus rapide (Behrendt, 1988).

4.4.4. Salinisation des sols

Lorsqu'un sol devient salin, il diminue la productivité agricole. Plus des trois quarts des sols affectés par le sel en Europe se trouvent en Hongrie, en Espagne et en URSS, mais il y en a aussi en Autriche, en Bulgarie, en Tchécoslovaquie, en France, en Grèce, en Roumanie et en Yougoslavie. La salinité des sols est intimement liée à celle des eaux souterraines, causant ainsi un problème pour l'irrigation et l'eau potable. En théorie, on peut empêcher la salinisation d'un sol par des techniques appropriées de gestion des plans d'eau. Cependant, si l'Europe n'adopte pas de telles mesures, il pourrait se produire quelques "ruptures" non impossibles à l'égard de la salinisation:

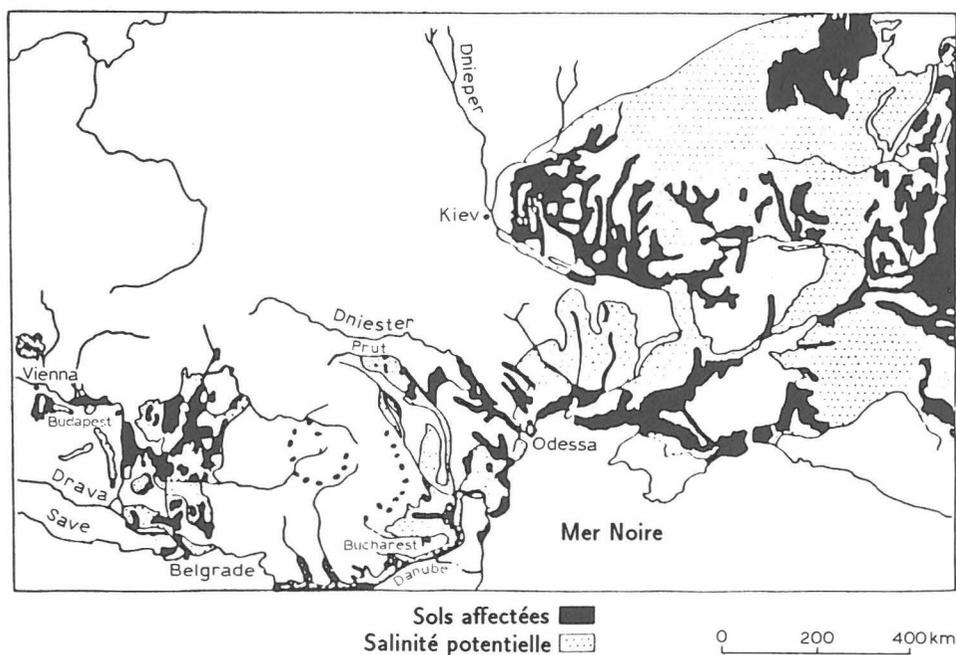


Figure 4.18. Sols affectés par le sel et salinité potentielle des sols à la suite d'une augmentation de l'irrigation (Szabolcs, 1988).

- (1) Salinisation des sols de certaines régions agricoles fertiles autour des bassins hydrographiques du Danube, du Brut, du Dnieper, du Don et de la Volga (Figure 4.18) si l'irrigation de ces régions augmente sous des conditions climatiques semi-arides.
- (2) Augmentation de la salinité des sols dans la région méditerranéenne autour des bassins hydrographiques du Tejo, de l'Ebro, du Po et du Rhône (Figure 4.19) par suite d'étés plus chauds et plus secs et d'un usage accru de l'irrigation.
- (3) Intrusion de l'eau de mer dans les nappes phréatiques des basses terres côtières du nord-ouest de l'Europe (Figure 4.20) à la suite d'une élévation du niveau de la mer.

4.4.5. Érosion du sol

(a) Nord-ouest de l'Europe

À cause de l'ampleur et de la fréquence critiques des précipitations de pluie entre les mois d'avril et d'août, les sols de loess des terres cultivées dans le nord-ouest de l'Europe sont très vulnérables à l'érosion. Cependant, bien qu'une modification des conditions climatiques puisse faire augmenter les précipitations,

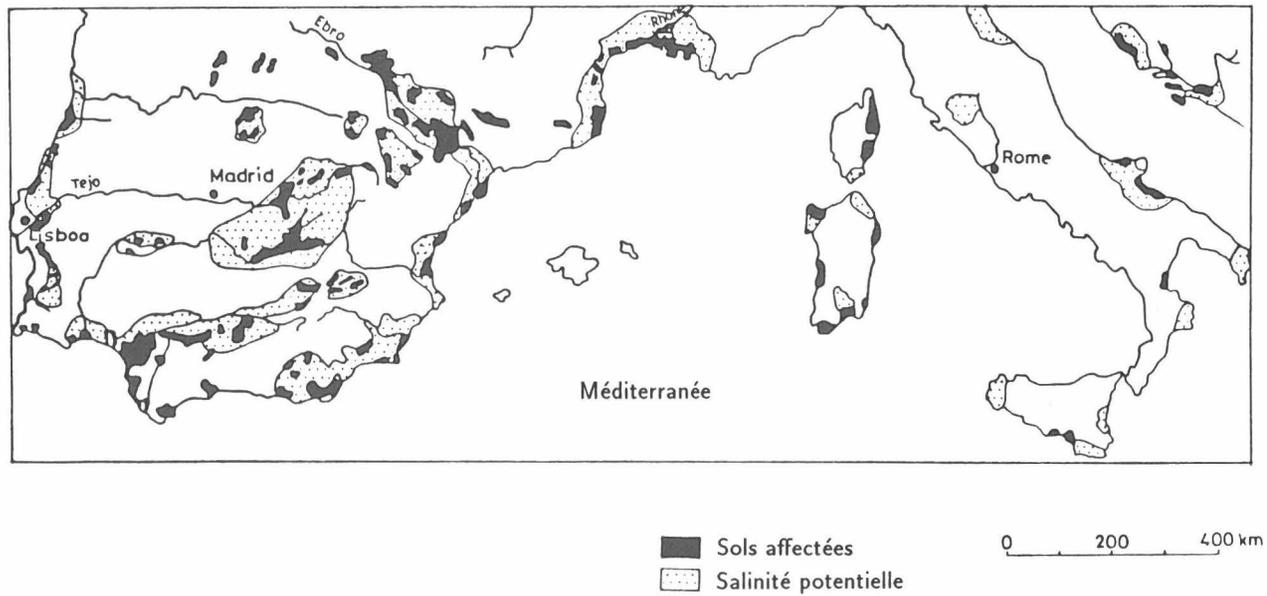


Figure 4.19. Sols affectés par le sel et salinité potentielle à la suite d'une modification des conditions climatiques (Szabolcs, 1988).

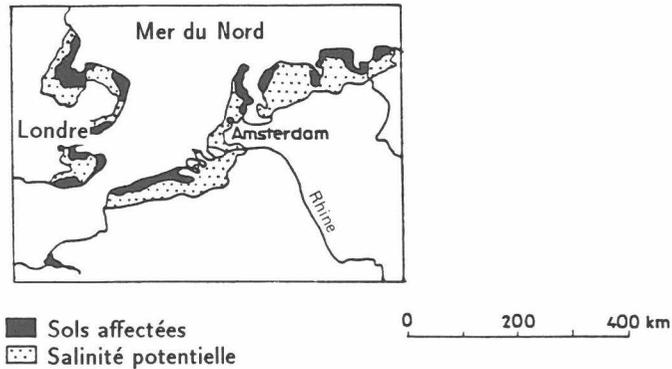


Figure 4.20. Sols affectés par le sel et salinité potentielle à la suite d'une élévation du niveau de la mer (Szabolcs, 1988).

comme l'illustre la *Figure 4.6*, les risques d'un accroissement de l'érosion pourraient être annulés par une protection plus longue de la couverture végétale (attribuable à un allongement de la saison de culture) et par une faune plus active qui aiderait à préserver l'intégrité des sols. Par conséquent, on ne prévoit pas que l'érosion des sols augmente de façon marquée à la suite de modifications climatiques. Qui plus est, on pourrait contrôler l'érosion des sols par des mesures d'économie et des labours minimums (De Ploey, 1988) ainsi que par la rotation des cultures. Il faut également souligner l'élaboration de nouvelles technologies visant à améliorer les propriétés physiques des sols par l'apport de polymères synthétiques (Imeson, 1988).

(b) La région méditerranéenne

Dans les pays en bordure de la Méditerranée, les modifications climatiques sont susceptibles d'accroître l'érosion, surtout parce qu'il est plus facile de déstabiliser la structure des sols dans cette région que dans le nord-ouest de l'Europe. L'importance de l'érosion des sols pourrait augmenter ici soit directement par une diminution du niveau des matières organiques, soit indirectement par une modification de la végétation et de l'utilisation des terres (par exemple par la culture pratiquée sur versants ou après un incendie de forêt).

(c) La région alpine

L'érosion des sols qui se produit dans la région alpine provoque des glissements de terre et de boue. À cause d'une augmentation des activités de loisirs et d'une diminution du couvert forestier à la suite de la pollution de l'air et du réchauffement des températures, il est plausible de croire que les problèmes d'érosion augmenteront.

4.5. Qualité de l'eau

4.5.1. Acidification des lacs en Fennoscandie

En s'inspirant du modèle RAINS de l'IIASA qui comporte plusieurs scénarios d'émissions sulfuriques, on peut estimer le pourcentage des lacs de plusieurs régions de Norvège, de Suède et de Finlande dont le pH se situera à l'intérieur d'une échelle donnée. La *Figure 4.21* présente les répartitions qui en découlent pour le scénario de (a) paraissant à la *Figure 4.9*, lequel prône une élimination progressive de l'énergie nucléaire. Tout comme dans les *Figures 4.14* et *4.15*, on compare ces répartitions avec celles du scénario "classique" et on peut constater que le modèle prévoit des modifications de quelques pourcents seulement dans les répartitions, provenant des changements relativement importants (positifs et négatifs) imaginés dans le scénario alternatif.*

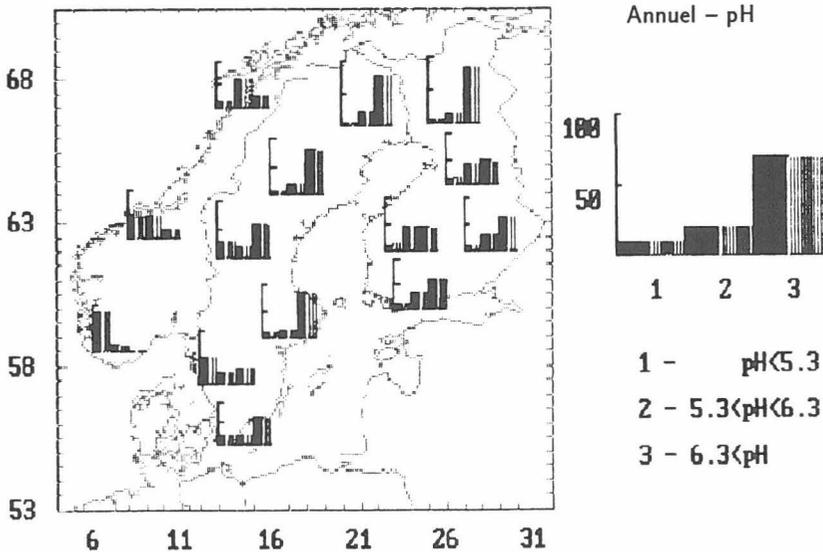


Figure 4.21. Prédications à l'aide du modèle RAINS du pourcentage des lacs en Fennoscandie en l'an 2030 dont le pH se situera entre les échelles de deux scénarios: le scénario classique (histogramme foncé) et l'élimination progressive de l'énergie nucléaire (histogramme rayé).

*Il y a plusieurs raisons à cela: (a) La capacité tampon des réseaux lacustres et hydrographiques est déjà si peu élevée que tout changement futur dans les dépôts aura très peu d'effet sur elle. (b) Les histogrammes font ressortir les lacs les plus sensibles, c'est-à-dire ceux dont le pH est inférieur à 5,3. Il convient également de souligner que le modèle RAINS ne traite pas à l'heure actuelle de l'acidification provenant des dépôts azotés.

De même, les scénarios imaginés dans (c/d) de la *Figure 4.9*, entraînent de petites modifications. Quoi qu'il en soit, on peut observer que près de 10% des lacs pourraient avoir un pH inférieur à 5,3. À ce niveau, l'alcalinité des lacs n'est pas en mesure de neutraliser les dépôts acidifiants.

4.5.2. Eutrophisation

Comme l'indique la Section 4.4.3, la superficie des terres agricoles saturées par le phosphore (et les nitrates) pourra augmenter et ainsi déclencher une eutrophisation qui risque de menacer les eaux de surface et les nappes phréatiques.

L'augmentation des températures pourra accroître le taux d'eutrophisation (R. Wollast, Université libre de Bruxelles, communication personnelle, 1986). Les hypothèses relatives au réchauffement des températures (voir les Sections 4.1 et 4.2) impliquent donc une augmentation substantielle du taux d'eutrophisation.

4.5.3. Anoxie et accumulation et libération de matières toxiques dans les estuaires et les régions côtières

La surfertilisation des eaux côtières provoque déjà un épuisement en oxygène, une suffocation des poissons et la production de H_2S ; voir, par exemple, Schroder (1985). Plus particulièrement dans les mers Baltique et Adriatique, on s'attend que de tels épisodes deviennent plus fréquents à cause du ruissellement accru des éléments nutritifs provoqué lui-même par un usage plus important d'engrais, tandis que dans les mers Adriatique et Noire, la situation sera attribuable à des réseaux d'égout qui réussiraient de moins en moins à satisfaire le nombre croissant de touristes dans les stations côtières.

Déjà, les métaux lourds et d'autres matières toxiques contaminent les sédiments d'une foule de fleuves, estuaires et eaux côtières d'Europe. Même s'il est plausible d'imaginer pour les 50 prochaines années une baisse des décharges de matières toxiques dans ces cours d'eau, les sédiments pourront se décharger des matières toxiques accumulées au cours des décennies précédentes. Une condition d'anoxie empêche la mobilité de certaines matières toxiques dans la mesure où ce genre de matière peut devenir plus perméable à l'eau lorsque le niveau d'oxygène augmente dans l'eau (Stigliani, 1988). Paradoxalement, donc, une diminution des eaux de ruissellement chargées par les engrais au nitrate et une amélioration du traitement des eaux d'égout (ces deux mesures étant susceptibles d'augmenter l'oxygène dans les eaux de réception) pourraient déclencher une libération de ces métaux et provoquer, de ce fait, une nouvelle vague d'effets toxiques. L'élévation du niveau de la mer pourra amplifier ces effets si le phénomène s'accompagne d'une perturbation mécanique des sédiments.

4.5.4. Modifications des zones humides

Les marécages d'eau douce jouent un rôle important dans le cycle des principales matières polluantes chimiques comme le sulfate, le nitrate et les matières

toxiques. Du fait qu'ils fournissent un milieu anoxique, ils peuvent opérer une transformation chimique des produits qui les traversent. Les marécages riverains empêchent les eaux de ruissellement azotées provenant des activités agricoles de se déverser dans les rivières adjacentes (Pinay et DeCamps, 1988). Dans les régions où se déposent des quantités élevées de soufre dans l'atmosphère, les marécages entreposent également le soufre sous forme de sulfures insolubles.

Les ruptures importantes en ce qui concerne les marécages sont associées aux évolutions attendues pour le climat, c'est-à-dire une augmentation de la température partout en Europe, une hausse des précipitations dans le nord de l'Europe ou une diminution dans le sud de l'Europe et enfin une élévation du niveau de la mer. Toutes ces modifications auraient les effets suivants:

- Assèchement des marécages d'eau douce dans le sud de l'Europe. Les fleuves et rivières auparavant protégés par les marécages adjacents seront à nouveau attaqués par le nitrate; il y aura également libération du soufre accumulé causant de nouveaux épisodes de lessivage par l'acide sulfurique (Stigliani, 1988).
- Création de marécages saumâtres dans les zones côtières. De fait, ces marécages pourraient protéger quelque peu l'environnement marin des côtes en accumulant efficacement des métaux lourds et d'autres matières toxiques sous forme de précipités insolubles au sulfure. Toutefois, si l'on parvient à transformer ces régions par des travaux d'irrigation et de digues, il est probable que les matières accumulées seront libérées au fur et à mesure que les terres s'oxygéneront.

4.6. Biotopes

4.6.1. Les forêts*

La *Figure 3.5* a présenté les scénarios plausibles d'une augmentation annuelle nette (AAN) et des coupes annuelles des forêts d'Europe. Nous examinons ici les facteurs qui pourraient modifier sensiblement l'orientation de ces variables. Ces facteurs sont notamment:

- (a) Un dépérissement des forêts attribuable principalement à la pollution atmosphérique (*Figure 4.22*). La baisse annuelle du volume des forêts dans une foule de pays d'Europe pourrait à la longue dépasser de cinq à dix fois les coupes annuelles (Nilsson et Duinker, 1987).
- (b) Une extinction de la forêt boréale à la suite d'un réchauffement rapide du climat (Jäger, 1988).
- (c) Des percées technologiques en génétique et dans la reproduction d'essences arboricoles (*Figure 4.23*).

*Cette sous-section est l'oeuvre de P. Duinker, Programme de l'environnement, IIASA.

- (d) Une demande accrue de forêts à des fins de protection et de loisirs (*Figure 4.24*);
- (e) La transformation sur grande échelle de terres agricoles en forêts (*Figure 4.25*).
- (f) Des augmentations importantes de la capacité de traitement des industries de pâtes et papiers (*Figure 4.26*).

Voici la liste des *hypothèses de rupture non impossibles* représentées dans les *Figures 4.22 à 4.26* qui pourraient en découler:

- Pénurie à long terme de bois en Europe à la suite d'une baisse de la couverture forestière et d'une demande accrue de forêts utilisées à d'autres fins que le bois (loisirs et protection de l'environnement).
- Ce problème de pénurie est résolu ou reporté de 20 à 50 ans à cause d'une transformation à grande échelle des terres agricoles, de percées technologiques en génétique ou du remplacement du bois par des matières non ligneuses.
- Une pénurie de bois survient dès l'an 2015 à la suite d'une demande fortement accrue de produits forestiers et d'un effondrement des approvisionnements étrangers de bois et de produits du bois.

Ces évolutions ont des conséquences économiques qui, à leur tour, influent sur l'état des forêts européennes. Pour une description du modèle de simulation pouvant servir à examiner les divers dilemmes politiques résultant de ces points tournants, prière de se reporter à Kornai (1988).

4.6.2. Diversité des espèces

Depuis 50 ans, la diversité des espèces diminue en Europe et bon nombre d'espèces de la flore et de la faune sont menacées d'extinction. Sur les quelque 11 000 espèces de plantes vasculaires en Europe, par exemple, 1 400 figuraient sur les listes des espèces menacées en 1977 et de ce nombre, 277 étaient particulièrement vulnérables; en 1982, le nombre d'espèces dans cette dernière catégorie avait augmenté pour passer à 344 (CEE, 1988a).

Cette situation s'explique de plusieurs façons:

- Perte et fragmentation des habitats.
- Pollution environnementale, notamment par les dépôts acides et l'utilisation généralisée de pesticides et d'herbicides.
- Invasion par des espèces concurrentes et des ravageurs biologiques.

Le changement climatique qui se produira au cours des 50 prochaines années exercera d'autres pressions sur les biota. En voici quelques exemples (Anonyme, 1988; De Groot, 1988):

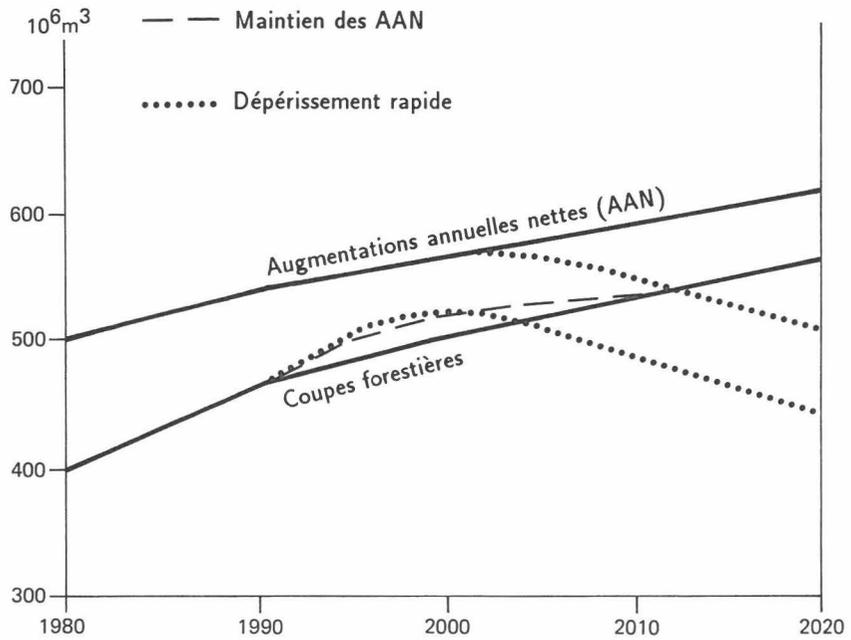


Figure 4.22. Évolutions non tendanciennes des coupes forestières annuelles et des augmentations annuelles nettes provenant d'un dépérissement de la couverture forestière.

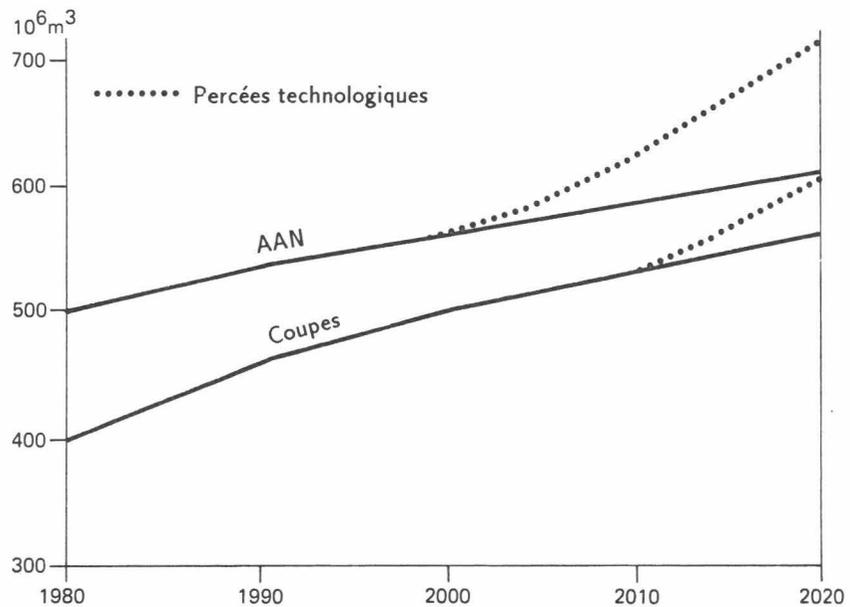


Figure 4.23. Évolutions non tendanciennes des coupes forestières annuelles et des augmentations annuelles nettes provenant des percées technologiques en génétique et dans la reproduction des essences arboricoles.

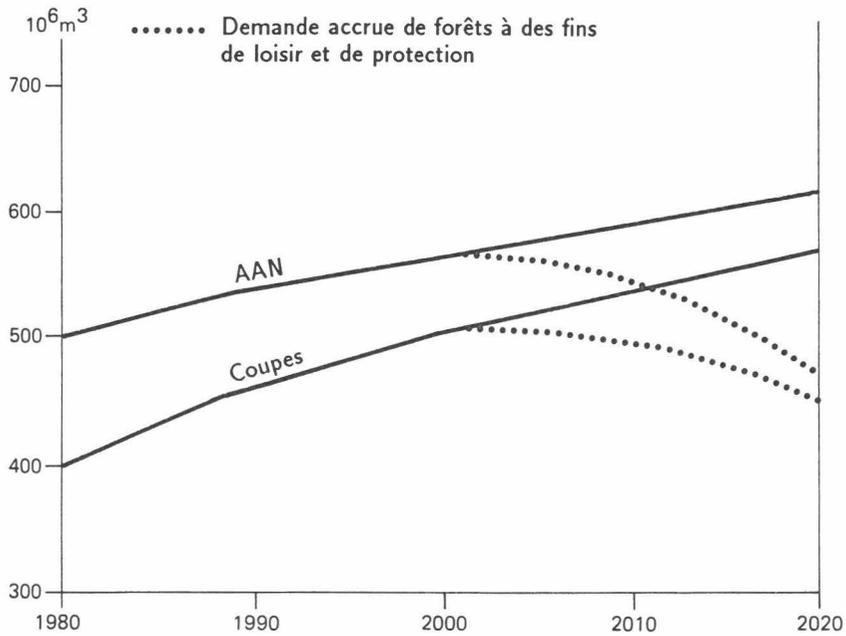


Figure 4.24. Évolutions non tendanciennes des coupes forestières annuelles et des augmentations nettes provenant d'une demande accrue de forêts à des fins de loisirs et de protection.

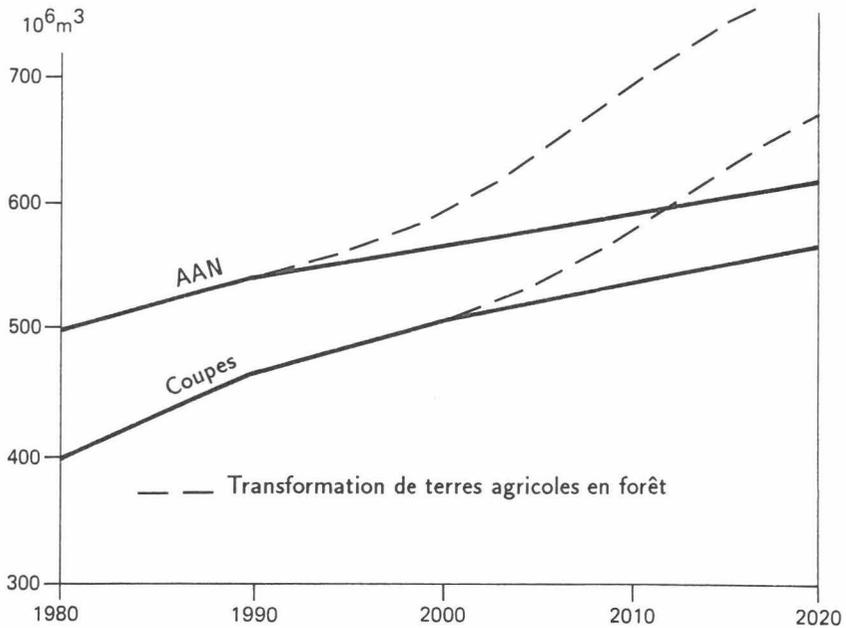


Figure 4.25. Évolutions non tendanciennes des coupes forestières annuelles et des augmentations nettes provenant d'une transformation à grande échelle de terres agricoles en forêts.

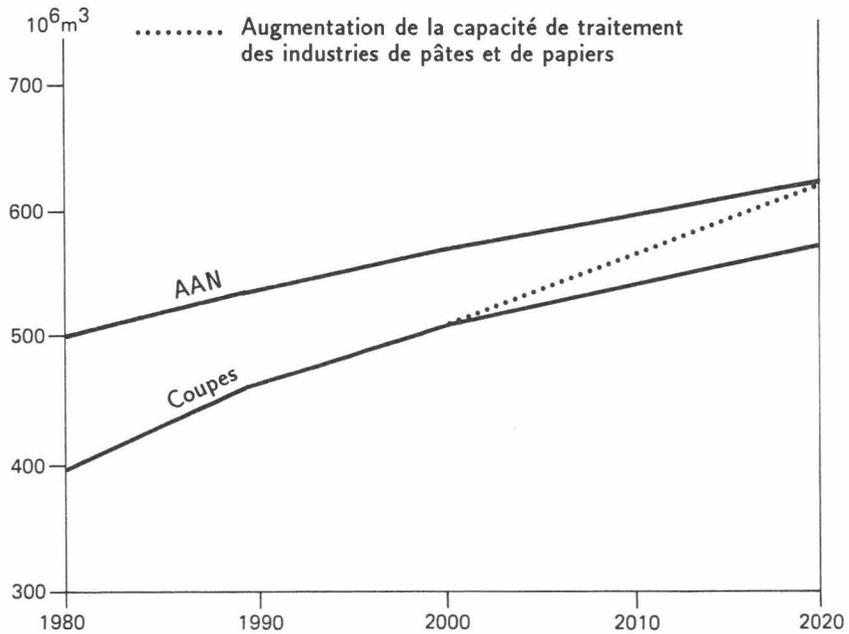


Figure 4.26. Évolutions non tendanciennes des coupes forestières annuelles provenant d'une augmentation accrue de la capacité de traitement des industries de pâtes et de papiers.

- L'élévation du niveau de la mer inondera une foule de marais côtiers.
- Le déplacement des zones de végétation naturelle, par exemple la régression de la forêt boréale, éliminera l'alimentation et l'habitat de nombreuses espèces.
- Un réchauffement majeur de la température des régions arctiques et subarctiques aura des effets importants sur les habitudes de ponte et les sources d'aliments des oiseaux côtiers de l'Arctique.
- La modification climatique influera sur les schémas migratoires et pourra favoriser des invasions biologiques (cela pourrait entraîner, par exemple, une utilisation accrue de pesticides et d'herbicides).
- Les espèces confinées à des réserves naturelles seront sans doute tout particulièrement vulnérables à une modification climatique.

Nous ne présenterons pas de scénarios ni d'hypothèses de rupture concernant la diversité des espèces étant donné que les modèles d'écosystèmes ne sont pas suffisamment perfectionnés pour nous fournir des simulations de modifications climatiques et d'autres facteurs. Quoi qu'il en soit, on s'accorde au moins à dire que des modifications importantes surviendront au niveau de la diversité des espèces au cours des 50 prochaines années et que certaines d'entre elles pourraient avoir des effets profonds et perturbateurs pour l'économie.

4.7. Utilisation des terres

Les modifications de l'utilisation des terres découlent d'activités humaines, notamment du développement socio-économique et géopolitique et de facteurs environnementaux. Les modifications environnementales auront des répercussions importantes sur les nouvelles utilisations des terres puisqu'elles pourraient fixer des limites aux options de mise en valeur des ressources ou à la création de nouveaux débouchés.

Urbanisation/industrialisation/transports

On ne prévoit aucune modification importante si ce n'est dans les basses terres côtières de l'Europe qui comprennent les grands estuaires où l'on trouve d'importants ports industriels et de riches terres agricoles. Ces régions sont exposées à cause de l'élévation prévue du niveau de la mer, laquelle pourrait amener une restructuration en profondeur du tissu urbain.

Loisirs

On prévoit des développements intensifs du tourisme permanent le long des côtes de la Méditerranée ainsi que de celles du Portugal, de la baie de Biscay et de la mer Noire. Il y aura également développement des installations estivales de loisirs dans les régions montagneuses, et des équipements hivernaux à proximité des grands centres urbains.

Agriculture

- (1) *Modifications technologiques:* Les progrès technologiques, notamment ceux qui sont liés au génie génétique, devraient permettre de modifier largement les limites critiques de tout un ensemble de cultures actuellement utilisées dans l'agriculture et l'horticulture européennes, et dans une moins large mesure des cultures forestières, au cours des prochaines décennies.
- (2) *Modifications au niveau des politiques:* Le niveau des subventions agricoles déterminera dans une large mesure les régimes futurs d'utilisation des terres. Ainsi, en maintenant les subventions à leur niveau actuel, on pourrait avoir besoin d'ici à l'an 2000 de 6 millions à 23 millions d'hectares supplémentaires de terres dans les 12 pays de la CE; en revanche, si on élimine toutes les subventions, il y aura un excédent de près de 35 millions d'hectares (Lee, 1988).
- (3) *Modifications climatiques:* Les limites d'utilisation des terres se déplaceront vraisemblablement à la suite de modifications climatiques qui imposeront de nouvelles frontières géographiques à la croissance des plantes; un déplacement de 5 à 7 degrés vers le nord étant prévu. La *Figure 4.27* explique ce phénomène pour quelques cultures (Brouwer et Chadwick, 1988). Le déplacement possible vers le nord des limites de culture de la betterave sucrière, du blé d'hiver, de l'orge de printemps et de la pomme de terre pourrait signifier qu'environ 18 à 20 millions d'hectares de

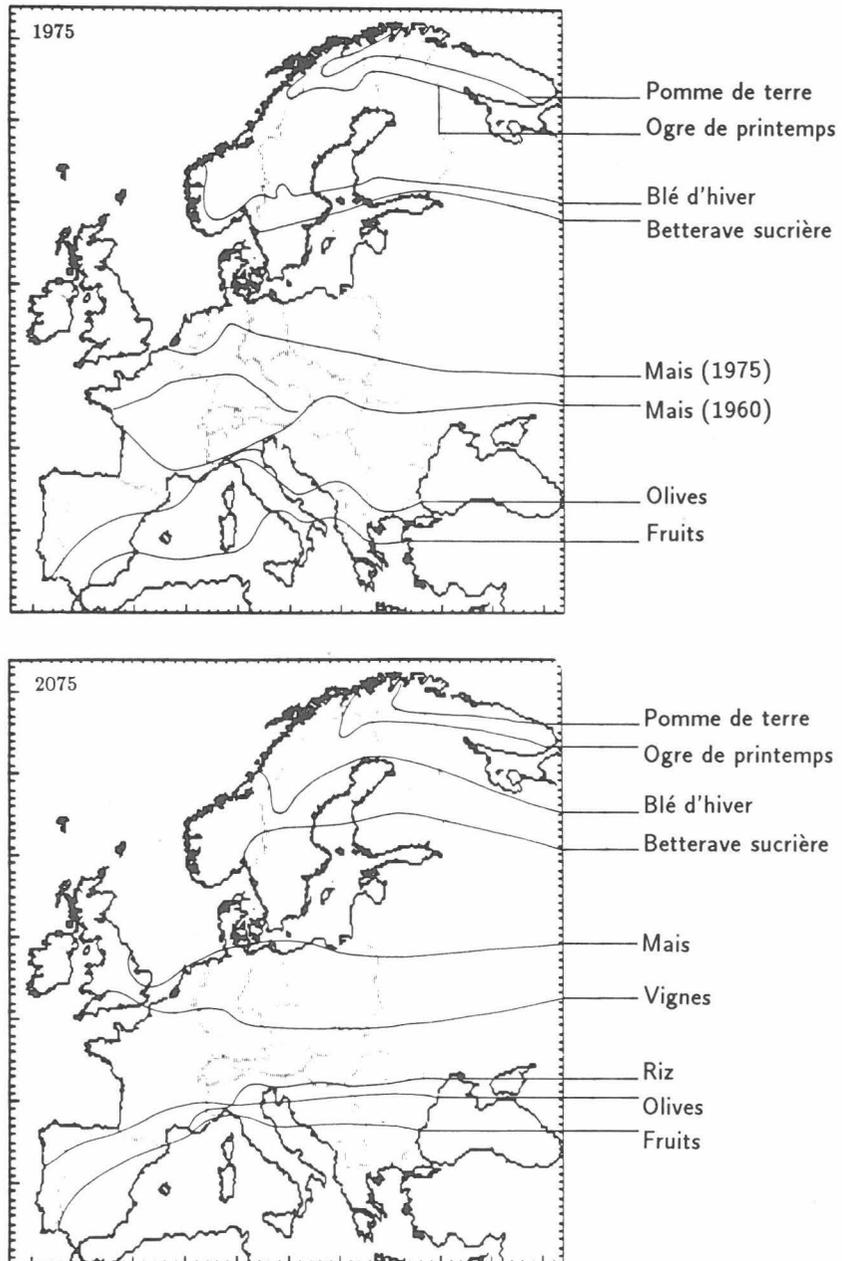


Figure 4.27. Frontières des cultures dans le nord de l'Europe en 1975 (Andreae, 1981) et en 2075. On remarquera le déplacement de ces frontières vers le nord.

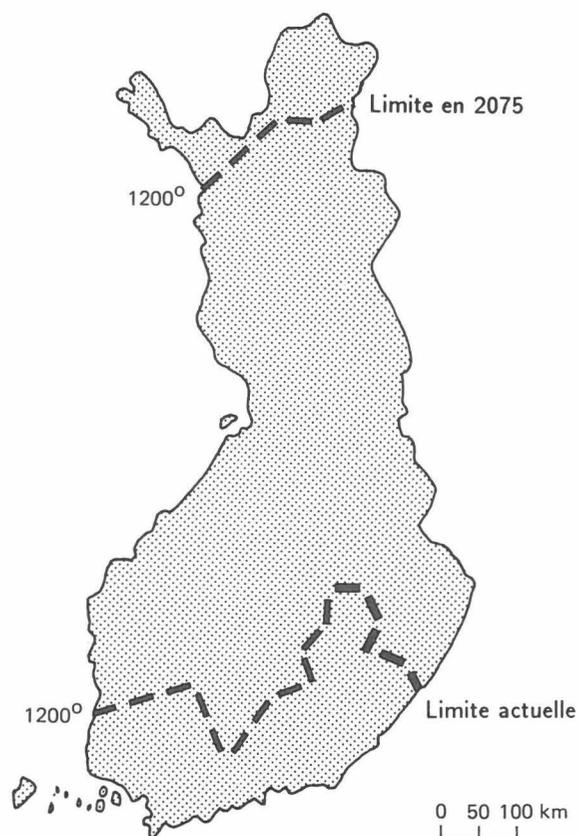


Figure 4.28. Déplacement de la limite extrême de la production de blé d'été en Finlande due à un changement significatif du climat entre 1975 et 2075. Source: Kettunen *et al.*, 1988.

terres forestières actuellement situées dans le nord de l'Europe (la forêt boréale du Nord) pourraient être défrichées pour permettre quelques-unes de ces cultures. Dans le sud de l'Europe (la région de la mer Méditerranée et celle qui borde la mer Noire), il ne sera probablement plus possible de cultiver avec succès des espèces arboricoles pérennes (agrumes et olives) et il faudra alors les remplacer par des cultures comme le coton (et peut-être le riz) sous irrigation. En effet, la croissance des cultures dans certaines parties de la Méditerranée sera restreinte lorsque la frontière sud montera de 3 à 5 degrés vers le nord. Entre ces deux extrêmes, il sera possible de modifier largement les régimes cultureux. Il convient également de mentionner la perte de riches terres agricoles à la suite d'une élévation du niveau de la mer, et un remplacement des pâturages alpins par des cultures comme celles des légumes, des fruits, de la vigne et du tabac (Hekstra, 1988). Pour donner un exemple des relations climat-agriculture, la *Figure 4.28* montre les effets potentiels d'un changement des climats sur la production de blé d'été en Finlande. La ligne inférieure indique la limite

actuelle pour ce type de culture, tandis que la ligne supérieure traduit les conséquences d'un réchauffement important des températures à l'horizon 2030. Comme le remarquent les auteurs de ces travaux (Kettunen *et al.*, 1988), même si l'accroissement de productivité qui en résultera (8 à 20%) peut, à première vue, être considéré comme entièrement bénéfique, il ne faut pas sous-estimer certains problèmes secondaires qui seront eux-aussi liés à ces modifications climatiques. Par exemple, les spécialistes des climats prévoient que l'accroissement des températures s'accompagnera d'un accroissement de la fréquence des événements météorologiques exceptionnels: périodes de sécheresse plus sévères, plus d'inondations, plus de vagues de chaleur, périodes de gel plus intenses, ainsi de suite. Parallèlement à cet accroissement de la variabilité des températures, la variabilité des productions agricoles sera elle-aussi accrue, avec le retour éventuel à des situations proches de celle de 1981 où la production de céréales fut réduite de près de 25% par rapport à la moyenne à long terme. Dans ces conditions, les agriculteurs, qui doivent investir sous forme de semences, d'engrais et de pesticides en tenant des bénéfices escomptés dans les récoltes futures, auront des difficultés croissantes pour estimer correctement ce qu'il faut produire et dans quelles quantités. Il y aura aussi des impacts importants sur le revenu agricole et les politiques régionales (Kettunen *et al.*, 1988). Actuellement, les terres agricoles sont naturellement plus productives dans le Sud et les revenus des agriculteurs y sont nettement plus importants. Or, on estime que l'accroissement des températures sera sensiblement plus élevé dans les régions du Nord. Ceci contribuera à égaliser les revenus entre les différentes régions, et donc à réduire les avantages comparatifs des fermiers du Sud, où le prix des terres est trois à quatre fois supérieur à ce qu'il est dans le Nord. Même si cette évolution est globalement positive, il faut, là encore, ne pas négliger certains "effets secondaires". L'agriculture finlandaise est lourdement subventionnée, notamment à l'exportation: le prix des produits vendus en Finlande est approximativement deux fois supérieur à celui du marché mondial. L'essentiel de l'accroissement de productions sera exporté, dans la mesure où la Finlande est déjà auto-suffisante en matière alimentaire. Dans ces conditions, les subventions à l'exportation devront s'élever fortement. Cela risque de menacer l'équilibre de la politique agricole. D'autant que, comme on l'a dit, le contrôle de l'approvisionnement alimentaire sera rendu plus difficile par la grande variabilité des climats et l'incertitude croissante sur les productions. En conclusion, la modification attendue des climats conduira à une vulnérabilité grandissante des filières agricoles et alimentaires.

- (4) *Modifications des pratiques agricoles:* Dans l'avenir, l'utilisation des terres à des fins agricoles pourrait être touchée par des règlements plus sévères visant à diminuer les pertes d'éléments nutritifs et le lessivage des pesticides vers les eaux souterraines et de surface. En principe, trois options s'offrent: (i) diminuer l'intensité des produits chimiques utilisés, (ii) modifier l'utilisation des terres en adoptant d'autres systèmes cultureux comme la rotation des cultures avec croissance céréalière, sans toutefois ensemercer les terres labourées, et (iii) établir, au moyen d'instruments de

politique (comme les taxes), des restrictions spéciales sur l'utilisation d'engrais et de pesticides chimiques. Brink (1988) est arrivé à la conclusion qu'une utilisation moins intense des terres aurait des effets des plus bénéfiques sur la diminution du lessivage.

- (5) *Modifications nettes*: Il existe *une hypothèse de rupture non impossible* selon laquelle des activités agricoles moins intensives feront diminuer les rendements. Pour maintenir la production globale, il faudra exploiter plus de terres afin de compenser la diminution de rendement par hectare. Un autre "point tournant" est le réchauffement climatique qui pourrait amener le défrichement de grandes parcelles de terrain non consacrées actuellement à l'agriculture, afin de pouvoir exploiter de nouvelles variétés de cultures. Toutefois, il est plus que probable que les modifications nettes au niveau de l'utilisation des terres agricoles seront infimes étant donné qu'il y aura surproduction par rapport à la demande. Un autre facteur qui pourrait restreindre l'expansion des terres agricoles est la mise au point de nouvelles variétés de cultures dont le rendement par hectare continuera d'augmenter.

4.8. Cohérence interne des scénarios

Les scénarios et points de rupture décrits aux Sections 3 et 4 sont passablement cohérents entre eux. Sans vouloir aller dans le détail, il pourrait néanmoins être utile de mentionner quelques-unes de leurs plus importantes interactions. Elles sont de deux types:

- (a) Les interactions découlant de modifications provoquées à l'échelle mondiale (par exemple l'augmentation du niveau global de CO₂ ou des émissions de méthane) qui entraîneraient des modifications environnementales générales (par exemple sur le climat ou le niveau de la mer) qui, à leur tour, amèneraient des modifications écologiques, géopolitiques et socio-économiques en Europe.
- (b) Les interactions survenant en Europe (par exemple une variation des émissions de soufre ou de NO_x) dont les répercussions écologiques, géopolitiques et socio-économiques toucheraient ce continent.

Comme exemple d'interactions de type (a), les scénarios de rupture liés au réchauffement climatique provoqueraient:

- Une diminution des jours-degrés de chauffage et de la consommation d'énergie en hiver.
- Un recours accru à la climatisation en été et une consommation plus forte d'énergie pendant cette saison.
- Une augmentation de l'évapotranspiration en été, qui entraînera une diminution du débit des fleuves et, de ce fait, des conséquences sur la production hydro-électrique, la navigation intérieure, la qualité de l'eau et les approvisionnements d'eau à l'industrie.

- Des étés plus longs sans glace sur les mers, les lacs et les fleuves du Nord.
- Des saisons de culture plus longues dans les régions nordiques.
- Une eutrophisation accrue des plans d'eau.
- Un assèchement des marécages d'eau douce dans le sud de l'Europe, amenant un nouvel apport de nitrates dans les fleuves adjacents ainsi qu'un lessivage par l'acide sulfurique.

Comme exemple d'interactions de type (b), les scénarios de rupture liés aux dépôts de soufre amenés par l'élimination progressive de l'énergie nucléaire provoqueraient ce qui suit:

- Un prolongement des limites des régions où l'on prévoit un excédent de charges.
- Un prolongement des limites de la diminution des forêts.
- Une augmentation du nombre de lacs et de fleuves acidifiés.
- La matérialisation des ruptures non impossibles évoquées dans la *Figure 4.22* relatives à l'augmentation annuelle nette et aux coupes annuelles des forêts d'Europe.
- Une diminution de la diversité des espèces dans les régions forestières actuelles d'Europe et dans les lacs acidifiés.

5. Dilemmes politiques et exercices d'élaboration et de simulation de politiques

5.1. Dilemmes politiques

Les problèmes écologiques sont étroitement liés aux activités socio-économiques et leur solution nécessite des compromis complexes entre des considérations d'ordre économique, social et scientifique. Il n'y a souvent pas de solutions faciles et les décideurs doivent alors choisir entre un ensemble d'options politiques dont aucune n'est vraiment attrayante pour diverses raisons, comme une forte incertitude scientifique, des risques économiques et politiques élevés ou la possibilité d'un soulèvement social. On trouvera ci-dessous quelques dilemmes d'importance que comporte la planification de stratégies destinées à la stabilité économique et écologique à long terme de l'Europe. Ces dilemmes ont été conçus à la suite d'entretiens qui ont eu lieu avec les hauts conseillers politiques et scientifiques de l'environnement en Europe qui ont participé à nos divers ateliers.

5.1.1. Gestion des ressources hydrographiques en période de modifications climatiques

Les politiques de gestion de l'eau tiennent habituellement compte des modifications prévisibles de la consommation tout en supposant que le climat, même s'il a subi des variations énormes d'une année à l'autre, demeurera le même pendant encore longtemps. Par exemple, lorsqu'on examine la construction de nouveaux réservoirs, on suppose que les précipitations dans les bassins au cours des 30 dernières années sont représentatives des conditions à venir. Cependant, dans quelle mesure une modification importante des ressources hydrographiques influera-t-elle sur ce genre de politiques? La question est problématique, car les scientifiques ne peuvent estimer avec beaucoup de précision les répercussions d'une modification climatique mondiale sur la disponibilité de l'eau à l'échelon des bassins hydrographiques. Or, les réservoirs, les barrages, les canalisations municipales et les réseaux de contrôle des inondations sont construits pour durer au moins 50 ans. Dans nos scénarios, nous avons supposé qu'il y aurait une pénurie d'eau dans le centre et le sud de l'Europe et un excédent en Scandinavie; voir la Section 4.2.2.

Le dilemme est donc le suivant: devons-nous introduire des politiques à long terme assorties de mécanismes de sûreté coûteux, compte tenu de l'incertitude dont sont entachées les projections actuelles de la disponibilité en eau, et dans l'affirmative, de quelle façon?

5.1.2. Acidification des sols et des lacs en Europe

Comme nous l'avons vu à la Section 4.4.1, même avec une diminution prévue des émissions de dioxyde de soufre en Europe d'ici à 1993, les pays d'Europe centrale risquent toujours de connaître une acidification généralisée et continue des

sols. Dès l'an 2030, près de 40 % des sols forestiers de cette région pourraient présenter un pH inférieur à 4 (Alcamo *et al.*, 1987). Ces sols, dans ce type de scénario, ne pourraient plus accueillir de forêts et de lacs productifs.

Pour dénouer cette crise, il faudra diminuer encore plus que prévu les émissions, ce qui nécessitera une intervention intergouvernementale. Cependant, on ne peut raisonnablement s'attendre à diminuer largement les émissions importantes de certains pays, surtout d'Europe de l'Est, au cours des 30 prochaines années à moins que ces pays ne modifient leur structure industrielle ou qu'ils reçoivent des sommes appréciables des pays d'Europe de l'Ouest à cette fin. Les calculs montrent en effet qu'un franc actuellement investi dans les pays de l'Est serait deux fois plus efficace en terme de réduction des pluies acides en Europe que le même franc dépensé dans les pays de l'Ouest. Une autre solution serait d'augmenter radicalement l'efficacité énergétique, mais les efforts déployés en ce sens dans le passé ont presque tous échoué. Enfin, on pourrait substituer l'énergie nucléaire aux combustibles fossiles. Cependant, cette option est peut-être difficile à envisager lorsqu'on tient compte des répercussions de l'accident nucléaire à Chernobyl. Le dilemme consiste donc à trouver un ensemble acceptable d'options en fonction des contraintes actuelles d'ordre technologique, économique et politique.

5.1.3. Gestion à long terme des forêts et possibilité d'une pénurie des approvisionnements en bois

Il y a actuellement une surabondance de forêts exploitables en Europe. Malgré cela, l'Europe importe 30% de son bois pour répondre à la demande. Cependant, une grave pénurie de bois pourrait survenir si certains facteurs se combinent. Selon les estimations, cette offre excédentaire devrait plafonner vers l'an 2010. Au cours de cette période, la demande de pâte à papier en Europe augmenterait de 150%. Pour satisfaire la demande, l'Europe pourrait devoir importer encore plus de bois que dans les décennies précédentes. Toutefois, à la satisfaction de ce besoin pourra s'opposer une diminution mondiale et radicale des forêts exploitables puisqu'on assiste à l'heure actuelle à un déboisement sans précédent, surtout dans les pays en développement. Cette situation pourrait entraîner une grave pénurie à l'échelle de la planète d'ici à l'an 2030. Pour être autonome à ce moment-là, l'Europe devra songer à planter de nouvelles forêts au plus tard dans 20 ans, mais comme ces plantations mobiliseront peut-être de nouvelles terres, on devra songer aux genres de terres qu'on affectera à cette fin. De plus, la productivité future des forêts européennes est déjà très incertaine étant donné que la diminution enregistrée à ce niveau pourra se poursuivre (comme nous l'avons vu à la Section 4.6.1).

Le problème dans ce cas est assez semblable à celui des ressources hydrographiques. Il est difficile d'amener les principaux intervenants publics, privés et institutionnels à mettre en oeuvre une politique à long terme de gestion des ressources forestières lorsqu'il n'y a aucune crise ni certitude au sujet de l'offre future de bois.

5.1.4. Marginalisation de certaines régions d'Europe à cause du développement principal de l'économie et de l'agriculture (vers une économie duale)

D'une manière générale, l'évolution du développement économique en Europe appauvrit certaines régions sur le plan économique. C'est notamment le cas pour les régions agricoles marginales et les anciens centres de l'industrie lourde. Le nouveau problème est le suivant: d'une part, les régions productives constituent une source de recettes fiscales qui peuvent en partie servir à la préservation des terres; d'autre part, comme les terres abandonnées ne procurent aucune recette de ce genre, des transferts devront être effectués pour les préserver. Une option moins coûteuse consisterait simplement à ne plus s'en occuper, mais cela risque d'entraîner de graves problèmes écologiques.

Les pays de la CEE songent actuellement à réduire de 20% la superficie des terres agricoles. Toutefois, les sols en question subiront des modifications chimiques notables si l'on n'y déverse plus des quantités importantes d'engrais, et de chaux. En conséquence, le lessivage de matières toxiques et une modification du débit des éléments nutritifs déversés dans les cours d'eau (Stigliani, 1988) pourraient perturber fortement l'environnement. D'autres problèmes sont également possibles, dont la disparition des paysages (importants pour l'industrie touristique) et un risque accru d'avalanches, de glissements de terrain et d'inondations.

Pour ce qui est de l'abandon de l'industrie lourde, une récente étude de la CEE (Haines et Joyce, 1987) souligne que les fermetures d'usines dans l'avenir risquent de poser un problème de contamination des sols étant donné que certaines laisseront sans surveillance les matières toxiques qu'elles auront enfouies sous terre.

5.1.5. Problèmes relatifs aux côtes

Une forte élévation du niveau de la mer, par exemple de 0,5 à 1,0 m, pourrait avoir des répercussions importantes sur les paysages côtiers de l'Europe. Ce phénomène n'aura probablement pas lieu avant au moins un demi-siècle, mais le dilemme que les législateurs devront résoudre surviendra bien avant. La plupart des infrastructures urbaines comme les barrages, routes, édifices, dépotoirs de matériaux toxiques et réseaux d'égout sont remplacées ou renouvelées sur une période pouvant atteindre un siècle. Cela signifie que la planification actuelle pourra influencer sur l'aménagement des villes côtières pendant beaucoup de décennies à venir. La question qui se pose est de savoir s'il faut tenir compte de cette élévation possible du niveau de la mer dans nos plans.

Ce problème touchera sans doute au plus haut point la côte méditerranéenne à cause des fortes augmentations de population que cette région pourra connaître. On sait qu'à compter de 1992, les pays de la CE devraient commencer à libéraliser leurs frontières, permettant ainsi aux habitants de se réinstaller n'importe où. Par exemple, des retraités du nord de l'Europe pourraient déménager dans la région de la Méditerranée. De plus, le grand nombre

de retraités, l'espérance de vie accrue et l'augmentation des temps de loisirs amenée par une semaine de travail écourtée sont susceptibles d'avoir des répercussions favorables sur le tourisme.

Le problème de l'élévation du niveau de la mer ne se produira pas avant plusieurs décennies, mais l'environnement pourra subir d'autres formes de dégradation à plus court terme. On doit alors se demander si les régions côtières ont ou auront les installations appropriées pour accueillir une population croissante. Si ce n'est pas le cas, il pourra survenir une dégradation rapide de l'environnement. Ainsi, le déversement direct dans la mer d'eaux d'égout non traitées pendant la saison touristique estivale constitue déjà l'un des plus graves problèmes écologiques de la côte Adriatique et d'autres régions du sud de l'Europe. Certaines villes pourraient voir leur population passer de 20 000 habitants en hiver à 50 000 en été sans pour autant disposer d'installations convenables de traitement des eaux usées. Ce genre d'usine coûte cher à construire et beaucoup de villes en Méditerranée tardent encore, à l'encontre du reste de l'Europe, à procéder aux investissements nécessaires. Les autres infrastructures nécessaires (comme les routes et les dépotoirs de déchets solides) pour accueillir les nouvelles populations pourraient également faire défaut.

Il est vrai que les grandes villes côtières possèdent sans doute une importante assiette fiscale et un appareil institutionnel qui leur permettent de mettre en place des mesures de protection, mais les petites villes qui ont récemment connu une hausse de leur population pourraient ne pas avoir de ressources suffisantes. Les pertes causées par les dommages à la propriété et le coût de construction ou d'agrandissement d'installations de traitement de matières polluantes risquent de déséquilibrer les économies locales.

Ici encore, le problème sera de choisir entre des mesures de protection très coûteuses ou le risque de conséquences encore plus coûteuses, compte tenu de l'incertitude des projections futures.

5.1.6. L'accumulation de matières toxiques, prélude potentiel à des bombes chimiques à retardement

L'accumulation et la libération soudaine de produits chimiques artificiels nocifs peuvent se produire de bien des façons dans l'environnement. De plus, surpris par le phénomène, le public autant que les autorités risquent de n'en prendre conscience et de n'y réagir qu'une fois la plus grande partie des dommages survenus. Idéalement, il faudrait disposer de programmes de surveillance, d'expérimentation et de recherche à long terme et sur grande échelle pour pouvoir reconnaître les produits chimiques nocifs et en prévoir les accumulations avant qu'elles ne se produisent. Les stratégies actuelles ne conviennent habituellement pas puisqu'elles s'attachent à des sources de pollutions chimiques bien connues comme le nitrate, le sulfate et d'autres. Il y a toutefois dans l'environnement des produits chimiques dont nous ne connaissons à peu près rien du point d'émission. Nous avons fait la preuve par le passé qu'il était généralement très difficile d'obtenir des fonds pour mettre en place des programmes de surveillance à long terme des nouvelles substances chimiques dont

nous ignorons à peu près tout de la toxicité ou des voies écologiques qu'elles empruntent. Nous décrivons plus en détail ce dilemme à la Section 5.3.

5.1.7. Émissions non ponctuelles de substances potentiellement toxiques

Des études effectuées sur les sources polluantes du bassin hydrographique de l'Hudson aux États-Unis révèlent que la pollution provenant des écoulements urbains et agricoles dépassent, depuis quelques années, les émissions de sources ponctuelles comme les usines et les installations de traitement des eaux d'égout (Ayres et Rod, 1986; Rohmann et Lilienthal, 1987). De fait, pour les 11 matières toxiques retenues, l'ordre de grandeur des émissions de sources non ponctuelles était plusieurs fois supérieur à celui de sources ponctuelles et ce, dans la plupart des cas. Cette situation est probablement attribuable à l'efficacité des règlements mis en place pour contrôler les émissions ponctuelles et industrielles.

Si cette tendance apparaît également en Europe, il faudra mettre au point une toute nouvelle stratégie pour lutter contre les matières toxiques. Beaucoup d'entre elles sont libérées au cours de l'utilisation ou de l'élimination de produits par le consommateur, certes en très petites quantités individuelles, mais leur accumulation à long terme peut être notable. Il s'agit ici des matériaux d'emballage, lubrifiants, solvants, agents de floculation, antigels, détergents, savons, produits de blanchissage et de nettoyage, teintures, peintures, et pigments, la plupart des papiers, produits de beauté, produits pharmaceutiques, engrais, pesticides, herbicides, germicides et ainsi de suite. Il est extrêmement difficile de réglementer les émissions des substances potentiellement toxiques qui se dégagent de ces produits. L'un des principaux problèmes tient au fait que, sauf certaines exceptions notables, on ne tient pas un compte détaillé de la circulation des produits chimiques dangereux dans l'économie industrielle, surtout après que le produit quitte l'étape de production pour être utilisé dans le commerce et dans le cycle de consommation (Ayres *et al.*, 1989; Norberg-Bohm *et al.*, 1988). Une autre difficulté a trait à l'élaboration d'une stratégie efficace de réduction des émissions. Deux options s'offrent à cet égard: promouvoir des produits adaptés à l'environnement et mettre en oeuvre des programmes de recyclage à grande échelle.

5.1.8. Contrôle des émissions mondiales de CO₂

Lorsqu'on examine les questions d'envergure mondiale, l'Europe est une région relativement petite. Les sociétés européennes peuvent-elles adapter des politiques qui influenceront les phénomènes mondiaux ou sont-elles condamnées à subir passivement les modifications à l'échelle de la planète, se contentant uniquement d'en atténuer les répercussions, lorsque la chose est possible, à l'aide de programmes adaptés? Une entente mondiale sur les émissions des gaz provoquant l'effet de serre constitue une possibilité. Les conventions conclues antérieurement sur les pluies acides et les hydrocarbures chlorofluorés indiquent

qu'il faut environ deux décennies pour obtenir un consensus international. Même si l'on signait une convention pour réglementer les émissions de CO₂, par exemple en l'an 2010, il n'est pas du tout évident qu'elle pourrait s'appliquer encore pour au moins 25 à 50 ans, surtout dans les pays du Tiers-Monde. Deux questions se posent: Comment accélérer la réaction internationale à cette question urgente et comment faire face aux modifications climatiques que provoquera l'importante augmentation de la consommation des combustibles fossiles sur les autres continents, même si l'Europe parvient à réduire ses propres émissions de CO₂? (D'autres problèmes mondiaux méritent également d'être examinés, notamment l'épuisement de la couche d'ozone dans la stratosphère.)

5.1.9. Besoins de transports ou qualité de l'air?

On devrait observer dans les prochaines décennies une augmentation marquée du transport voyageurs et marchandises, plus spécialement par automobile, camion et avion.* Cependant, étant donné que les approvisionnements de pétrole propre pourront être assez restreints à ce moment-là et que les combustibles liquides propres utilisés pour les transports pourront être trop coûteux, il faudra peut-être alors choisir entre les exigences des transports ou celles de l'environnement. Par conséquent, les émissions de sources mobiles pourront devenir la principale cause de pollution atmosphérique, surtout dans le cas des transports aériens, qui pourra doubler en Europe au cours des 30 prochaines années.

Même si l'on peut avoir accès à une source abondante et relativement peu coûteuse de combustibles liquides ou gazeux, il pourra être impossible de résoudre le problème des émissions de NO_x qui sont libérées par la combustion à température élevée. Selon les modèles courants, la quantité d'ozone troposphérique provenant des émissions de NO_x libérées par les aéronefs pourrait augmenter de façon marquée (Brühl et Crutzen, 1988).

Pour alléger le problème des transports, on pourrait recourir à des aéronefs ultrarapides fonctionnant à l'hydrogène, qui circuleraient dans la stratosphère pour les liaisons intercontinentales. Cependant, une flotte mondiale de ces avions dégagerait des quantités énormes de vapeur liquide dont nous ne connaissons pas encore les conséquences sur l'environnement.

5.1.10. Aménagement des terres urbaines et suburbaines

Il est possible que l'utilisation future des terres en Europe repose davantage sur une prise en compte conjointe de facteurs sociaux, économiques et politiques, d'où une intégration spatiale et temporelle plus marquée que dans le passé. Cette tendance pourrait donc déboucher sur une catégorisation à plus grande échelle des terres à certaines fins. Toutefois, même s'il peut être intéressant

*Selon les estimations récentes, on comptera 36 millions d'automobiles sur les routes de Grande-Bretagne en l'an 2020, comparativement à 21 millions en 1988 (The Times, 9 novembre 1988).

d'utiliser des terres à certaines fins pour en retirer un gain économique à court terme, le processus peut devenir irréversible, du moins pendant les trois ou quatre générations à venir. L'urbanisation en est un exemple. L'étalement des zones suburbaines s'est produit près de toutes les grandes villes européennes, souvent en détruisant des terres agricoles fertiles et des réserves naturelles.

En revanche, d'autres prétendent que les politiques d'utilisation des terres doivent, en toute justice pour les générations à venir, favoriser la préservation de l'environnement, la mise en valeur des ressources naturelles et le caractère pluri-fonctionnel des terres. Quelque souhaitables que soient ces objectifs, leur mise en oeuvre exigera du public au cours des prochaines décennies une nouvelle façon de percevoir l'utilisation des terrains. À l'heure actuelle, l'intérêt public n'est probablement pas assez fort pour empêcher des activités foncières lucratives qui pourraient nuire aux intérêts des générations à venir.

5.1.11. Augmentation de la demande d'électricité en été et répercussions sur la qualité de l'air

En Amérique du Nord, jusqu'à l'État de New York au nord, la consommation d'énergie est plus élevée en été qu'en hiver à cause de l'utilisation répandue des climatiseurs dans les bureaux, habitations, automobiles, etc. La situation n'est pas la même en Europe puisque la demande de pointe se produit en hiver. Toutefois, un scénario non impossible est que:

- Le mode de vie en Europe change au point que la climatisation devienne un facteur social important.
- La demande de conditionnement de l'air augmentera à mesure que le réchauffement du climat provoquera une fréquence et une intensité accrues des vagues de chaleur en été.
- De plus, beaucoup de résidents d'Europe du Nord passeront leur retraite en Méditerranée où les vagues de chaleur sont plus fréquentes que dans leur région d'origine.
- La charge d'énergie en été augmentera pendant ces vagues de chaleur et produira des pointes dans les émissions de NO_x provenant des usines d'énergie, des épisodes d'oxydation massive à grande échelle ainsi que d'une hausse de l'acidité des pluies.

Pour ce qui touche l'établissement de politiques, on pourra éviter cette crise potentielle si l'on introduit des mesures sans tarder, notamment des contrôles plus rigoureux des émissions de NO_x que ceux qu'on envisage actuellement à l'endroit des usines d'énergie, des mesures de découragement à l'achat de climatiseurs et la conception de climatiseurs à rendement énergétique plus élevé. La question est de savoir comment intégrer ce problème à l'ordre du jour écologique de l'Europe.

5.2. Méthodes de formulation d'une politique environnementale à long terme

On reconnaît généralement que les moyens habituels servant à intégrer l'information scientifique aux stratégies à long terme de gestion de l'environnement ne conviennent pas à la tâche. La pénurie énorme de connaissances scientifiques, qui empêche actuellement d'élaborer des analyses quantitatives et rigoureuses permettant de prévoir les modifications que subira l'environnement, est un des grands problèmes inhérents aux dilemmes politiques que nous avons décrits précédemment. De plus, nous ne savons pas encore comment utiliser de façon optimale l'information actuelle dans la formulation de politiques prudentes qui auraient pour double but de protéger l'environnement et de promouvoir le développement économique. Un autre problème sans doute plus fondamental est l'absence de mécanismes qui permettraient actuellement aux scientifiques et aux principaux décideurs d'échanger leurs idées sur la gestion à long terme de l'environnement de manière à produire de nouvelles données utiles. Pour cette raison, les décideurs sont souvent déçus de constater que la plupart des recherches scientifiques ne présentent aucune pertinence pour l'action politique et les scientifiques sont souvent découragés parce que leur recherche semble n'avoir aucune répercussion sur les politiques d'intérêt général.

Comme le souligne Brewer (1986), les deux moyens courants de faire la synthèse entre la science et la politique, c'est-à-dire les groupes d'experts de haut niveau ("Blue Ribbon") et les modèles de simulation informatique à grande échelle destinés à l'analyse économique-environnementale, bien qu'ils soient fort utiles dans certains contextes, le sont cependant moins lorsqu'il s'agit d'analyser de vastes modifications écologiques à long terme. Les groupes d'experts scientifiques conviennent tout particulièrement pour faire l'unanimité sur des questions complexes mais bien définies sur le plan scientifique. Cependant, ils oublient souvent les aspects politiques, lorsqu'il y en a, ou ils les traitent de manière simpliste.

La complexité même (et la non-linéarité) des phénomènes du monde réel constitue un obstacle aux modèles économique-environnementaux à grande échelle. Wack (1985a, b) signale qu'une planification reposant sur des prévisions mathématiques peut être raisonnablement précise pour de courtes périodes relativement stables. Cependant, les modèles échouent, précisément pour cette raison, lorsqu'on en a le plus besoin, c'est-à-dire pour prévoir des modifications fondamentales qui exigent une nouvelle façon de percevoir le futur et de le prévoir. Beck (1983) signale également que les modèles n'éliminent pas le recours au jugement personnel. En effet, si l'on utilise les modèles simplement comme des "fournisseurs de réponses", le décideur aura alors effectivement abdiqué la plus grande partie de son pouvoir aux scénaristes.

Wack et Beck ont tous deux prétendu fortement qu'il était possible de gérer un avenir incertain à l'aide de "scénarios". Pour eux, les scénarios ont pour rôle de renforcer chez le décideur sa compréhension de l'avenir en lui fournissant une perception de plusieurs environnements possibles grâce auxquels il pourra vérifier ses décisions. Le scénario n'a pas pour but de prédire l'avenir mais bien de gérer le présent, d'apprendre à vivre avec l'incertitude, de l'intégrer au processus

décisionnel et enfin d'ériger des ponts entre le décideur et le scientifique.

La défense d'une telle approche ne diminue en aucune façon la valeur de la modélisation, bien au contraire. La réalité est tellement complexe que s'ils ne disposent pas d'une aide quelconque pour l'organiser, les décideurs se sentent de plus en plus inutiles et sont forcés de prendre des décisions sans en connaître vraiment les conséquences. La distinction, cependant, vient du fait que les modèles doivent être évalués non pas en fonction de leur précision à révéler les orientations futures réelles, mais bien de leur utilité à augmenter la connaissance et la compréhension des décideurs en permettant d'explorer les conséquences dynamiques de certaines des hypothèses complexes.

Les scénarios et les simulations informatiques représentent des étapes importantes dans notre approche centrée sur la formulation de politiques à long terme. Toutefois, le fondement le plus original de notre approche est ce que nous avons appelé *les exercices d'élaboration de politiques* ("policy exercises") dont le cadre méthodologique a été élaboré au cours des trois dernières années par l'équipe du Programme de l'environnement de l'IIASA (Brewer, 1986; Toth, 1986, 1988). La méthode recourt à divers scénarios écologiques possibles pour l'Europe comme pièce maîtresse d'une élaboration de politiques appropriées. Les grands scientifiques de l'environnement et les décideurs sont alors confrontés à des scénarios qui portent sur un problème écologique particulier posé sous forme d'un "dilemme politique". On ne révèle pas au départ le déroulement complet de chaque scénario mais plutôt des "tranches chronologiques" (par exemple 2005, 2015, 2025). À chaque fois, on demande aux participants de décrire les politiques qu'ils jugeraient appropriées à la gestion de l'environnement. On vérifie ensuite la pertinence des politiques à mesure que se déroulent les événements futurs du scénario. De fait, le futur se déroule partiellement en fonction de la succession des politiques préconisées par les participants. De plus, ces derniers peuvent non seulement participer à l'exercice mais également, s'ils le désirent, contester la validité du scénario présenté. Toutefois, le contestataire doit défendre à ce moment sa propre vision de l'avenir. Si on favorise ce genre de participation, c'est qu'on veut que les scénarios bousculent les idées préconçues du décideur au sujet de ce qui *arrivera* et ainsi apprendre peut-être aux gestionnaires à percevoir le futur dans une perspective *d'incertitude*.

L'exercice d'élaboration de politiques n'a pas pour but de mettre au point un ensemble ferme de politiques écologiques pour les 50 prochaines années, mais bien de :

- (1) Sensibiliser les décideurs aux incertitudes d'ordre naturel et humain et de les amener à considérer la possibilité que certaines de leurs politiques actuelles, bien qu'elles reposent sur des motifs valables, entraînent des conséquences désastreuses à long terme.
- (2) Apprendre aux décideurs à utiliser des stratégies spécialisées de gestion qui évoluent continuellement au fur et à mesure que de nouveaux renseignements sont connus.
- (3) Convaincre les décideurs de la nécessité de recourir, de préférence, à des "exercices de politiques" réguliers avec les scientifiques pour établir les priorités et l'ordre du jour écologiques.

5.3. Illustration par l'exemple : l'accumulation de matières toxiques, prélude potentiel à des bombes chimiques à retardement

“L'accumulation de matières toxiques – prélude potentiel à des bombes chimiques à retardement” a été l'un des dilemmes examinés à l'atelier des exercices de politiques de l'IIASA tenu les 17 et 18 juin 1988 à Baden, en Autriche.* Nous examinerons maintenant la brève description de ce dilemme donnée à la Section 5.1.6 afin de faire ressortir l'utilité de l'exercice de politiques.

Le but de cet exercice particulier était d'évaluer l'efficacité des stratégies de gestion nouvelles ou actuelles servant à protéger les systèmes écologiques de l'accumulation et de la libération soudaine de matières toxiques. Les méthodes ont été mises au point afin que les institutions, les technologies et les activités de surveillance et de recherche puissent jouer un rôle important dans la prévision des problèmes avant qu'ils surviennent en réalité.

La première partie de l'exercice consistait à simuler la libération soudaine d'un produit chimique toxique inconnu à trois occasions séparées dans le temps mais reliées par une cause commune. Les participants devaient élaborer des stratégies pour atténuer les conséquences du produit chimique. Dans la deuxième partie de l'exercice, il y a eu évaluation critique des stratégies proposées pendant la simulation et recommandations d'autres stratégies qui, en rétrospective, auraient pu avoir plus d'efficacité.

Au départ, l'exercice a porté sur une petite région géographique, notamment une région côtière dans le bassin du fleuve Pô, en Italie. Un endroit particulier a été choisi pour donner du réalisme à la situation et pour fournir une échelle spatiale facile à manipuler. Toutefois, les conclusions obtenues s'attachent à la question générale des “bombes chimiques à retardement” et des moyens qui peuvent être pris pour les combattre.

Un groupe de quatre participants a tenté de prévoir les réactions des autorités locales de la santé à ces événements. Débutant en l'an 2020, la simulation a confronté le groupe à la mort mystérieuse et soudaine de poissons dans un petit estuaire tributaire du Pô (qu'on désigne ci-après comme l'événement A). Le groupe a eu pour première tâche de dresser un plan d'action convenable. On a ensuite présenté un deuxième épisode survenant six ans plus tard et plus en amont (événement B) afin de vérifier l'efficacité de ce plan comme outil de pré-alerte à d'autres épisodes du même genre. De même, on a vérifié l'efficacité de ce deuxième plan à prévoir un troisième épisode se produisant encore plus loin dans le temps, dans une grande région au nord de la mer Noire (événement C). La simulation a pris fin à ce moment-là.

Le *Tableau 5.1* présente des données de référence pertinentes sur les conditions écologiques de la région avant l'an 2020. Le groupe a reçu cette information avant le début de l'exercice. Le *Tableau 5.2* expose les trois épisodes d'empoisonnement toxique en 2020, 2026 et 2030. Ces renseignements ont été fournis au groupe seulement après qu'il eut réagi à l'événement précédent. Le *Tableau 5.3* décrit les causes des trois événements, mais cette information n'a pas

*Les auteurs sont redevables à M. J.-P. Vanderborght, Université libre de Bruxelles, de sa contribution à la préparation de cette simulation.

Tableau 5.1. Conditions écologiques hypothétiques dans l'estuaire tributaire du fleuve Pô avant l'événement A.

En l'an 2000, on a nettoyé à fond l'estuaire des déversements ponctuels qui s'étaient produits et aucune perte de poisson n'avait été rapportée depuis ce moment-là. Même s'il n'y a pas eu surveillance continue, la qualité de l'eau semblait excellente en général. L'agriculture, principale utilisatrice des terres dans le bassin de l'estuaire, était demeurée stable pendant des décennies et l'apport de produits chimiques dans la terre n'avait pas été modifié de façon notable.

Tableau 5.2. Scénarios.

Événement A:	Rapport de poissons morts dans un petit cours d'eau tributaire du Pô, près de la côte de l'Adriatique en juin 2020.
Événement B:	Un deuxième épisode plus étendu de mortalité et en amont du premier événement se produit en 2026.
Événement C:	Un troisième épisode encore plus important que les deux autres survient en 2030 dans une vaste région agricole de l'URSS, au nord de la mer Noire.

Tableau 5.3. Causes des événements: un scénario non impossible.

- Un pesticide, le XB-10, a été utilisé pendant plus de deux décennies dans toutes les régions touchées. Cependant, aucun problème écologique n'était survenu avant 2020. Le pesticide est très toxique, mais les essais en laboratoire ont montré qu'il était immobilisé dans le sol et qu'il n'y avait eu aucun lessivage dans les eaux souterraines et de surface. Les produits de décomposition du pesticide sont lessivés dans le sol, mais ils ne présentent aucun danger pour l'environnement. En 1995, le XB-10 a été autorisé comme produit "sûr pour l'environnement" aux termes de la directive de la CEE exigeant des essais pré-commerciaux des nouveaux pesticides.
- Bien qu'il soit habituellement immobilisé dans le sol, le XB-10 est rapidement lessivé lorsqu'il se trouve en sol salin. En effet, comme les ions de sel cherchent eux aussi à être absorbés dans les particules du sol, ils délogent les molécules du pesticide qui sont ensuite lessivées dans les réseaux aquatiques.
- L'événement A est survenu à la suite de plusieurs inondations graves de la côte pendant lesquelles les eaux salées de la mer Adriatique ont imprégné le sol d'une région agricole déjà fortement contaminée par le XB-10. L'inondation était attribuable à une légère élévation du niveau de la mer Adriatique.
- L'événement B est survenu à la suite d'une élévation beaucoup plus importante du niveau de la mer. La salinisation a été causée par l'inondation directe des sols en bordure du fleuve ainsi que par l'intrusion des eaux salées dans les nappes phréatiques dans lesquelles l'eau d'irrigation a par la suite été puisée.
- L'événement C n'a pas été attribuable à une élévation du niveau de la mer mais bien à une irrigation accrue exigée par une production agricole intensive. (Voir la *Figure 4.18.*) Étant donné que les nappes phréatiques dans cette région sont très salées, la forte irrigation qui a suivi a provoqué une salinisation du sol.

Tableau 5.4. Résumé des réactions du groupe aux événements.

<p>Événement A:</p>	<p><i>Réaction:</i></p> <p>(1) Analyse de l'eau du fleuve, de tissus de poisson et d'organismes biologique.</p> <p><i>Résultats:</i></p> <p>(1) Agent chimique inconnu trouvé dans les tissus de poisson et dans les plantes.</p> <p>(2) Après six semaines, isolement de l'agent comme étant un résidu du XB-10.</p> <p><i>Mesures prises:</i></p> <p>(1) Observation des tissus de poisson et expériences menées à l'aide d'une "sonde biologique".</p> <p>(2) Notification des autres organismes de santé de la région.</p> <p>(3) Le XB-10 n'est pas banni à cause de preuves insuffisantes. L'épisode semble être un événement isolé.</p> <p><i>Facteurs clés non abordés:</i></p> <p>(1) On n'a pas cherché à savoir comment le produit chimique était soudainement apparu dans le poisson, après deux décennies d'utilisation.</p>
<p>Événement B:</p>	<p><i>Réaction:</i></p> <p>(1) Demande de bannissement du XB-10.</p> <p>(2) Examen des conditions pédologiques dans les régions affectées.</p> <p><i>Résultats:</i></p> <p>(1) Lien établi entre la hausse du niveau de la mer, la salinisation et la mobilité accrue du pesticide.</p> <p>(2) Bannissement du XB-10 dans la CE.</p> <p><i>Mesures prises:</i></p> <p>(1) Établissement d'un programme de surveillance à long terme dans le bassin fluvial.</p> <p>(2) Avertissement servi aux familles de ne pas boire l'eau du robinet tant que les spécialistes de la santé n'auront pas donné leur aval.</p>
<p>Événement C:</p>	<p><i>Réaction:</i></p> <p>(1) On établit que l'irrigation a causé la salinisation et le lessivage subséquent du XB-10, mais il est trop tard pour atténuer la plupart des dommages.</p> <p>Fin de la simulation.</p>

été transmise aux participants. Le *Tableau 5.4* résume les réactions du groupe au fur et à mesure que les événements se sont déroulés.

Comme on peut le constater, le groupe n'a pas réagi de façon spéciale et ses mesures n'ont pas été particulièrement efficaces. Quelles mesures aurait-il dû prendre? Cette question a été vivement débattue et a débouché sur les suggestions suivantes:

- (1) Meilleurs systèmes de pré-alerte (voir la Section 6 ci-après qui aborde certaines des propositions).
- (2) Reconstruction chronologique des épisodes de l'empoisonnement chimique dans les autres régions, y compris l'évaluation des stratégies qui auraient dû être adoptées.
- (3) Particulièrement dans le cas des épisodes qui comportaient des éléments curieux ou inexplicables, procéder à des évaluations biogéochimiques détaillées (le problème peut sembler disparaître, mais il peut resurgir ailleurs à un autre moment).
- (4) Comme suite à (3), il conviendrait de tenir un "registre international des incidents" afin de favoriser une collaboration plus étroite entre les organismes environnementaux en Europe et de leur permettre d'échanger régulièrement des renseignements sur la libération de produits chimiques dans l'environnement.
- (5) Mettre au point des normes plus rigoureuses pour les essais pré-commerciaux de substances potentiellement toxiques comme l'hypothétique XB-10, et notamment une évaluation de la mobilité des organismes lorsque leur milieu subit des modifications chimiques et physiques.
- (6) Établir des répertoires de sources et des voies écologiques en Europe pour chacune des substances en question.
- (7) Offrir des stimulants à la mise au point de nouvelles technologies, notamment le génie génétique, destinées à traiter les sols contaminés et les nappes phréatiques.*

*Un autre exercice de ce type a été fait pour simuler les conséquences sur la gestion du bassin du Pô de différents scénarios de modification des climats.

6. Systèmes de pré-alerte*

6.1. Introduction

Afin de pouvoir répondre comme il se doit à une telle diversité de dilemmes politiques, deux questions doivent être posées:

- (1) Est-il possible d'être informé d'une tendance biologique nuisible suffisamment d'avance pour prendre les décisions qui s'imposent en matière politique?
- (2) Même si l'on peut obtenir un avertissement assez tôt, pourrait-on formuler une politique (et la mettre en oeuvre) pour inverser ou ralentir la tendance, ou du moins pour en atténuer les répercussions? Nous toucherons ici à la première question. À la Section 7, nous examinerons les dilemmes politiques par rapport aux mesures qui peuvent être prises, en supposant qu'on dispose effectivement d'un avertissement préalable.

6.2. Cadre conceptuel

Il y a actuellement en Europe différents systèmes de surveillance de l'environnement: l'annexe C nous énumère les principaux. Toutefois, l'un des grands problèmes qui se posent lorsqu'on essaie de déceler une fluctuation des séries chronologiques géophysiques ou écologiques est la variabilité naturelle de l'environnement. Dès le moment où l'on isole une tendance et qu'on en constate la signification statistique, il est souvent trop tard pour modifier les décisions politiques, si ce n'est à des coûts extrêmement élevés pour la société.

Reconnaissant que les problèmes écologiques sont habituellement attribuables à des activités socio-économiques, il est alors préférable de chercher à localiser dans une chaîne de causes à effets le point le plus avancé pouvant servir d'indicateur de pré-alerte. Ainsi, il est important de reconnaître les nouvelles technologies qui libéreront à la longue des quantités notables de substances toxiques dans l'environnement, soit sous forme de déchets industriels soit, ultérieurement, par élimination au stade de l'utilisation finale (par exemple les hydrocarbures chlorofluorés dans les canettes aérosol). Il n'est souvent pas possible de remonter assez loin dans la chaîne pour trouver un indicateur socio-économique convenable (par exemple, dans le cas de causes multiples ou de répercussions minimales cumulées qui ont déjà hypothéqué l'avenir dans une certaine mesure).** Il peut cependant y avoir des points intermédiaires dans les chaînes de causes à effets où une surveillance biogéophysique nous signifierait au moins qu'un changement est sur le point de se produire. Ainsi, d'après la théorie de Broecker selon laquelle le réchauffement des températures amènera une déviation du Gulf Stream vers le sud, le profil de salinité de l'océan Atlantique au sud du Groenland représenterait un indicateur de pré-alerte (Broecker, 1987).

*Le cadre de base de cette section a été élaboré par les membres d'un groupe de réflexion qui se sont réunis les 4 et 5 août 1988 à l'IIASA.

**Voir cependant la Section 6.3.

Ce mode de raisonnement entraîne un besoin continu: (1) de modèles pour connaître les liens entre les facteurs socio-économiques et les modifications écologiques; et (2) d'évaluations des répercussions écologiques des nouvelles technologies, réglementations, politiques, procédures opérationnelles et transformations culturelles. La *Figure 6.1* présente un cadre conceptuel à cette question.

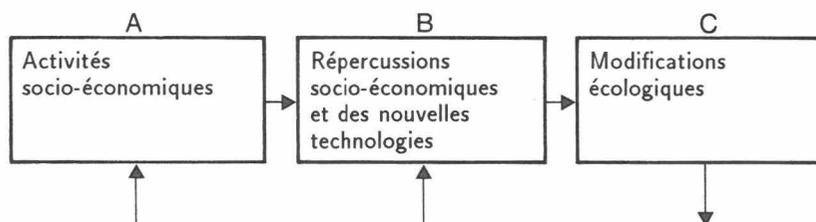


Figure 6.1. Cadre conceptuel d'un système de pré-alerte. Les éléments à surveiller doivent comprendre non seulement des paramètres écologiques, mais également certains indicateurs de l'encadré B et, si la chose est possible, de l'encadré A. Pour que le système soit utile, il est nécessaire que les liens entre les encadrés et les réactions soient reproduits dans des modèles convenables.

6.3. Quelques principes généraux

La mise au point d'un système de pré-alerte doit s'articuler autour d'un problème particulier et reposer également dans une large mesure sur les scénarios élaborés (notamment les futurs non impossibles). Il est donc difficile de présenter autre chose que des suggestions provisoires sur la nature d'un tel système. Il y a cependant quelques principes généraux qui peuvent nous guider.

- (1) La probabilité que des modifications rapides surviennent dans un système écologique augmente selon le taux croissant de changement des variables socio-économiques principales et (ou) des composants environnementaux. La pratique habituelle des gestionnaires d'essayer de préserver l'état actuel face à une modification externe tend à diminuer la souplesse dans les choix et impose un stress supplémentaire au système.
- (2) La plupart des systèmes socio-économiques et écologiques renferment certaines variables qui réagissent plus rapidement ou dans une plus large mesure que d'autres à des agresseurs externes. Cependant, les fluctuations de la moyenne quadratique d'une tendance peuvent être beaucoup plus grandes pour certaines de ces variables que pour d'autres. Il est donc important d'évaluer les caractéristiques de la réaction au stress et les propriétés statistiques des principales variables du système. Ce n'est qu'à ce moment qu'on pourra alors choisir les meilleurs indicateurs de pré-alerte. Voir, par exemple, Wigley et Jones (1981) qui révèlent que le réchauffement des températures est plus susceptible d'apparaître sous les latitudes moyennes en été, même si le réchauffement sera plus marqué sous les latitudes élevées en automne et en hiver.

- (3) Certaines modifications socio-économiques peuvent aggraver plus fortement l'environnement que d'autres. On doit donc essayer au départ de quantifier les relations agresseurs-réactions de manière à choisir celles qui ont le plus de répercussions par unité de modifications dans les variables socio-économiques.
- (4) Dans un système de pré-alerte, il est utile de disposer d'une échelle spatiale convenable comme celle du bassin hydrographique ou de la zone de prise ("catchment area"), non seulement parce qu'elle est facilement perturbée à la fois par les processus naturels et anthropogéniques mais aussi parce qu'elle est suffisamment étendue pour éliminer quelques-uns des bruits qui entourent le signal. Il est évident que les frontières politiques ou socio-économiques pourront ne pas correspondre à celles du bassin hydrographique, créant ainsi des problèmes au niveau de l'élaboration du système de surveillance. Des divers types de bassin ou de zones écologiques qui se prêtent à une étude, on retiendra plus particulièrement les grands bassins semi-fermés. La mer Caspienne en est un exemple, car le débit des eaux douces est en régression depuis les années 1930 à cause, en partie, d'une augmentation de l'irrigation. De fait, la mer Caspienne constitue un laboratoire externe qui est particulièrement bien adapté à la surveillance des facteurs écologiques et socio-économiques (Antonovsky *et al.*, 1988).
- (5) L'accumulation de petites perturbations au cours des quelque 50 dernières années peut avoir déjà hypothéqué l'environnement dans l'avenir. Un système de pré-alerte aura donc pour but de fournir une estimation du moment où le système pourrait perdre toute rentabilité économique ou même subir un effondrement écologique. Comme première étape vers la construction d'un système de pré-alerte répondant à cette fin, il conviendrait de dresser un répertoire des données chronologiques pertinentes. Sur ce répertoire devraient se greffer des indicateurs indirects des conditions antérieures (analyse historique des facteurs d'émissions polluantes comme la quantité de charbon exploitée, de plomb fondu, etc.). C'est ici que la méthode du bilan matières sera particulièrement utile. (Voir Ayres et Rod (1986) et la Section 9.1.2 dans le présent document.)

6.4. Quelques indicateurs possibles de pré-alerte applicables à des modifications écologiques

On présente ci-dessous quelques indicateurs de pré-alerte des modifications écologiques en Europe. Dans chaque cas, il faudra expliquer l'indicateur avec la collaboration des utilisateurs possibles des renseignements en question et accorder une attention spéciale aux résolutions temporelles et spatiales.

- (1) *Énergie*: consommation; efficacité; pourcentage d'utilisation de chaque type de système énergétique; rapports de la consommation estivale/hivernale; listes des émissions; développement nouvelles technologies pour lutter contre les émissions polluantes.

- (2) *Quantité d'eau*: approvisionnement (séparément pour chaque grande source); consommation par les principaux usagers; consommation par tranche de 1 000 \$ US du PNB.*
- (3) *Richesses naturelles renouvelables*: (terrestres et aquatiques): perte d'habitats; concurrence au niveau de l'alimentation ou de l'espace; gains et pertes d'éléments nutritifs; capacité tampon des sols et des lacs; épuisement de l'oxygène dans les lacs et les mers; chaulage des lacs, forêts et terres agricoles en voie d'acidification; accumulation de substances toxiques; production par unité de ressources (y compris l'énergie) utilisées (Tolba, 1986); importations et exportations de richesses naturelles et de produits.
- (4) *Ressources renouvelables gérées*: récoltes (quantité et genres); pertes d'éléments nutritifs; accumulation de substances toxiques; ventes d'engrais, de pesticides et d'herbicides; importations et exportations d'aliments primaires et transformés. Voir le *Tableau 6.1* (Huffman, 1987) qui présente quelques indicateurs de pré-alerte des "problèmes à venir" dans le secteur agricole. Dans les quatre catégories exposées au *Tableau 6.1*, la stabilité du système est sans doute l'élément le plus important quoique le plus difficile à quantifier.
- (5) *Matériel de lutte contre la pollution*: fiches techniques sur les progrès technologiques et évaluation de leur potentiel; installation de matériel de lutte contre la pollution atmosphérique et construction d'usines de traitement des eaux usées; installation de systèmes de recyclage; fiches techniques sur les programmes de recyclage des collectivités; fonds dépensés.
- (6) *Utilisation des terres*: modifications de la répartition des terres entre les diverses catégories: secteur urbain, industrie, agriculture, forêt, loisirs, transports et utilisations spéciales (comme le secteur militaire); taux de développement des régions de villégiature et de retraite. Voir, par exemple, Manning (1988).

6.5. Quelques exemples

Pour quelques-uns des dilemmes écologiques à long terme exposés à la Section 5, nous pouvons suggérer provisoirement quelques stratégies de surveillance de pré-alerte et ainsi être en mesure d'évaluer notre capacité d'obtenir des avertissements préalables pour la gamme des dilemmes étudiés.

Exemple 1: Épisodes d'oxydation pendant l'été (un simple cas à analyser)
(voir la Section 5.1.11)

Scénario: Gravité et fréquence accrues d'épisodes d'oxydation dans le sud et le centre de l'Europe provenant d'une utilisation plus forte de climatiseurs et débouchant sur une consommation accrue d'énergie pendant les vagues de chaleur estivales et à une hausse des émissions de NO_x provenant des centrales

*On estime les valeurs actuelles à 146, 75, 90 et 44 m^3 pour la Pologne, la Tchécoslovaquie, la RDA et la RFA respectivement, par exemple (Kindler, 1988).

Tableau 6.1. Indicateurs pouvant signaler à l'avance des "problèmes futurs" dans le secteur agricole (Huffman, 1987).

<i>Stabilité physique</i>	Modifications de l'épaisseur de la couche arable, teneur du sol en matières organiques, structure, texture, densité en vrac, compression, capacité tampon, teneur en sel, concentrations de substances toxiques, déclinaison et longueur des pentes, pratiques agricoles et climat.
<i>Stabilité économique</i>	Modifications du revenu à la production, des ratios d'endettement, de l'efficacité des capitaux utilisés et du taux d'emploi.
<i>Stabilité sociale</i>	Modifications de la satisfaction des agriculteurs et travailleurs agricoles, migration vers les villes.
<i>Stabilité des systèmes</i>	Modifications de la capacité d'absorption de chocs comme des sécheresses, inondations, infestations par des ravageurs.

d'énergie. Le problème pourrait survenir à la suite d'un réchauffement des températures, d'un nouveau mode de vie ou d'une combinaison de ces deux éléments.

Indicateurs de pré-alerte: Ventes annuelles de climatiseurs; consommation d'énergie pendant l'été. (Il convient de souligner que des données seront nécessaires pour tous les pays du centre et du sud de l'Europe.)

Exemple 2: Pénuries d'eau (voir la Section 5.1.1)

Scénario: Concurrence plus vive à l'égard de l'eau à cause d'un réchauffement des températures et d'une diminution des précipitations dans la moitié sud de l'Europe. Il pourra y avoir dans certains pays des "obstacles" hydrographiques (Kindler, 1988) qui auront des conséquences très graves sur le développement.

Indicateurs de pré-alerte: Produit régional brut (PRB) et disponibilité de l'eau, ainsi qu'un modèle regroupant ces deux éléments. Par exemple, Jansson (1988) a présenté une étude du bilan de l'eau sur l'île de Gotland (dans la mer Baltique) où le développement économique régional fluctue selon les réserves d'eau. On observe depuis le milieu du siècle dernier une diminution des réserves d'eau douce attribuable à une réalimentation moins forte des nappes phréatiques et à un écoulement accru des eaux de surface, deux phénomènes provenant du drainage et d'une récupération des terres. À l'aide d'un modèle fort détaillé, l'auteur a utilisé la relation présentée à la *Figure 6.2* comme un outil d'analyse des politiques. À un niveau de faibles réserves d'eau, l'industrie alimentaire, l'industrie du ciment et le secteur touristique de l'île seraient presque éliminés. Les tendances du PRB et de la disponibilité de l'eau représentent donc des indicateurs convenables de pré-alerte à des obstacles imminents au niveau des réserves d'eau. (La consommation d'eau ne devrait pas augmenter énormément

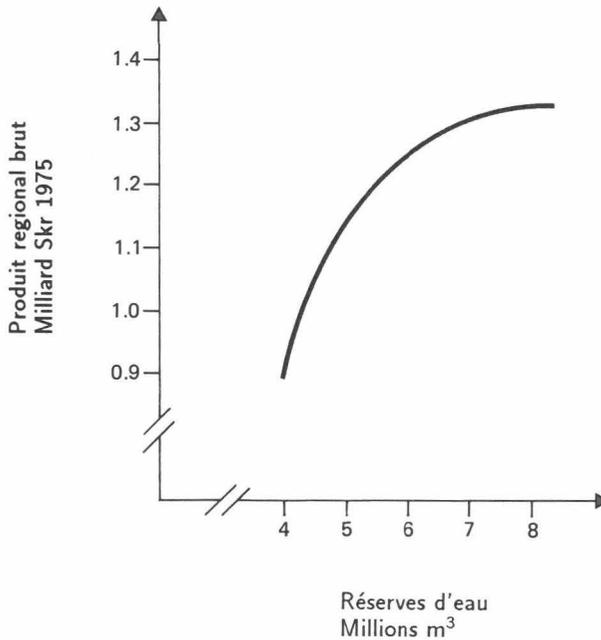


Figure 6.2. Comparaison du produit régional brut (PRB) et des réserves d'eau dans l'île de Gotland, en mer Baltique, d'après un modèle économique-écologique (Jansson, 1988).

en Europe (voir la Section 4.2.2), mais des exceptions pourraient survenir dans certains pays de sorte qu'il faudra également surveiller ce paramètre.

Exemple 3: Acidification des sols (voir la Section 5.1.2)

Scénario: Émissions constantes ou même accrues de SO_x et de NO_x entraînant une acidification plus prononcée des sols.

Indicateurs de pré-alerte: Première priorité – Liste des émissions annuelles; surveillance régulière de la capacité tampon des sols. (Il est à souligner que le pH n'est pas un indicateur de pré-alerte utile.)

Exemple 4: Pénuries au niveau des approvisionnements en bois (voir la Section 5.1.3)

Scénario: Diminution rapide des approvisionnements en bois provenant d'une demande accrue de bois, d'un effondrement des approvisionnements étrangers et d'une baisse des approvisionnements forestiers en provenance d'Europe (à cause du vieillissement des arbres, de la pollution atmosphérique ou du réchauffement des températures).

Indicateurs de pré-alerte: Importations et prix du bois et des produits du bois provenant de l'étranger; demande de bois en Europe; approvisionnements en bois de l'Europe (y compris le vieillissement des arbres, la superficie des forêts en hectares, l'augmentation annuelle nette des peuplements sur pied). Il est à remarquer que la diminution des importations, l'augmentation de la demande de bois, la baisse des approvisionnements et des plantations de remplacement entraîneraient à courte échéance une pénurie des approvisionnements en bois.

Exemple 5: Abandon de terres agricoles (voir la Section 5.1.4)

Scénario: Terres agricoles abandonnées et négligées. L'arrêt du chaulage entraînerait un lessivage des substances toxiques et des éléments nutritifs dans les cours d'eau. Érosion éolienne des sols dans le sud de l'Europe pendant les vagues de sécheresse. Risque accru d'avalanches et de glissements de boue attribuables à l'abandon des pâturages alpins.

Indicateurs de pré-alerte: Revenu par hectare d'exploitations agricoles marginales; taux d'abandon des terres agricoles; caractéristiques du sol de ces terres.

Exemple 6: Élévation du niveau de la mer (voir la Section 5.1.5)

Scénario: Élévation d'un mètre du niveau de la mer sur une période de quelques décennies.

Indicateurs de pré-alerte: Aucun connu; on pourrait recourir à quelques indicateurs intermédiaires comme une mesure locale du niveau de la mer et de la teneur en sel des nappes phréatiques, ainsi qu'à d'autres indicateurs généraux du réchauffement des températures comme les émissions de gaz de l'effet de serre et l'élévation des températures. On pourrait utiliser les modèles hydrographiques pour connaître les zones côtières les plus susceptibles d'être touchées.

Exemple 7: Bombes chimiques à retardement (voir la Section 5.1.6)

Scénario: Une modification de l'utilisation des terres et des climats et une accumulation faible mais continue de matières toxiques dans les sols et les sédiments, malgré une diminution des émissions de ces substances, accroîtraient le potentiel de libération de bombes chimiques à retardement, comme le décrit Stigliani (1988).

Indicateurs de pré-alerte: Rapport précis et détaillé de la circulation des produits chimiques dangereux dans l'économie industrielle, d'après le concept du métabolisme industriel (voir Ayres *et al.*, 1989). Ce phénomène nécessite le recours à la méthode du bilan matières afin de connaître le parcours emprunté par les produits chimiques entre l'étape de production et de traitement jusqu'à leur utilisation finale et élimination. Cette méthode permet souvent d'estimer avec plus de précision l'accumulation de traces dans l'environnement que si on recourait à un système typique de surveillance. À cet égard, les émissions directes de substances potentiellement toxiques provenant d'usines pourraient ne pas avoir autant d'importance, par exemple au stade de l'utilisation finale; on pense ici aux batteries au plomb ou aux HCF dans les réfrigérants.

Il sera également primordial d'observer les modifications chimiques qui régissent les principales capacités d'entreposage des matières toxiques dans l'environnement, par exemple capacité tampon, capacité d'adsorption et potentiel redox (voir Stigliani, 1988).

Exemple 8: Crise du trafic aérien et introduction d'aéronefs à hydrogène
(voir la Section 5.1.9)

Scénario: Forte augmentation des transports aériens à la fois en Europe et entre les continents, produisant une pression marquée sur les réseaux de transport aérien déjà surchargés. Ce phénomène provoquerait une augmentation des émissions de NO_x et de l'ozone troposphérique (Brühl et Crutzen, 1988), exacerbant l'épisode estival d'oxydation dont on a parlé à l'exemple 1. De même, élaboration d'une nouvelle technologie permettant à des aéronefs à hydrogène de circuler à haute vitesse dans la stratosphère. Toutefois, la combustion de l'hydrogène, qui ne laisse habituellement aucune trace dans la troposphère, pourrait avoir des conséquences nuisibles dans la stratosphère.

Indicateurs de pré-alerte:

- (a) Pour l'ozone troposphérique – Données sur les émissions de NO_x et sur la circulation aérienne.
- (b) Pour les conséquences dans la stratosphère – Aucun n'est connu. Dès que les travaux de recherche et de développement sur les aéronefs à hydrogène auront suffisamment progressé, il sera difficile d'empêcher l'exploitation de cette technique. Il est donc important de surveiller étroitement les progrès technologiques et d'entreprendre simultanément une évaluation des conséquences de tels aéronefs dans l'atmosphère.

6.6. Rôle des modèles

Pour donner de bons résultats, un système de pré-alerte exige une assez bonne compréhension de l'interdépendance des procédés socio-économiques et écologiques. Il arrive quelquefois que les liens entre les causes et les effets soient très directs et que la principale question à résoudre demeure la rapidité avec laquelle l'environnement réagira aux modifications socio-économiques postulées. Le dilemme de l'oxydation en période estivale en est un bon exemple.

Cependant, il peut parfois arriver que les liens entre les causes et les effets soient assez ténus. Ainsi, les scénarios présentés à la *Figure 4.7* font ressortir des écarts très marqués du niveau de la mer dans les scénarios dont les probabilités de réalisation s'établissent à 90%, 50% et 10%. Comme le signalait Jäger (1988), l'imprécision que recèlent ces estimations provient de notre incapacité de prévoir tout autant les concentrations futures des gaz de l'effet de serre que la réaction du système climatique à cet égard. On ne pourrait alors élaborer un système de surveillance qui nous alerterait suffisamment à l'avance pour que nous puissions modifier les politiques. Les seuls signaux de pré-alerte proviendraient des prédictions mêmes des modèles.

7. Quelques conséquences écologiques plausibles de quatre chemins de développement

7.1. Quelques sentiers de développement

Sur la base des renseignements présentés dans les six sections précédentes, on pourrait envisager une multitude de chemins de développement et de scénarios écologiques pour l'Europe. Toutefois, l'élaboration de tant de chemins n'aurait aucune utilité pour les décideurs, de sorte qu'une liste abrégée s'avère essentielle. D'autres études pourraient explorer les options qui intéressent particulièrement certains groupes.

Voici les chemins de développement examinés ici:

- (1) *Continuation des tendances actuelles en Europe et ailleurs*, c'est-à-dire croissance économique faible et succès modeste à ralentir les modifications de l'environnement, d'où un réchauffement modéré des températures d'ici à l'an 2030 (c'est-à-dire plus importants que ceux exposés aux *Figures 4.1 à 4.4* mais inférieurs à ceux présentés aux *Figures 4.5 et 4.6*, et élévation du niveau de la mer d'environ 20 cm).
- (2) *Croissance élevée de l'économie en Europe et ailleurs*: expansion économique continue et seulement des dépenses marginales consenties pour l'environnement.* Cette option conduit à un réchauffement marqué des températures, comme l'indiquent les *Figures 4.5 et 4.6*, et à une élévation d'un mètre du niveau de la mer d'ici à l'an 2030.
- (3) *Économie adaptée à l'environnement en Europe et ailleurs*. Préservation et recyclage accrus des richesses naturelles, efficacité énergétique, contrôle des émissions notamment des émissions de gaz provoquant l'effet de serre. Cette option conduit seulement à un léger réchauffement climatique en l'an 2030, comme l'indiquent les *Figures 4.1 à 4.4*, et à une élévation minimale du niveau de la mer.
- (4) *Économie axée sur le respect de l'environnement en Europe mais non ailleurs*: croissance économique élevée sans aucune mesure appropriée de protection de l'environnement hors de l'Europe, d'où un réchauffement marqué des températures d'ici à l'an 2030, comme dans le chemin 2.

Ces quatre chemins de développement sont suffisamment différents (au niveau des tendances du développement socio-économique) pour permettre de comparer utilement les répercussions sur l'environnement. Le chemin 4 soulève une question intéressante: "Qu'arrivera-t-il si l'Europe devient un bon protecteur de son environnement mais que les autres régions du monde s'orientent vers une croissance industrielle élevée sans avoir les mêmes préoccupations écologiques?" Il convient également de souligner que même dans le cas du "meilleur"

*Comme le signale le rapport de la Commission Brundtland (CMED, 1987), la pauvreté est une cause principale de dégradation du milieu, surtout dans les pays en développement. Selon l'hypothèse présentée ici, une croissance économique élevée et une stabilité économique sont incompatibles seulement lorsque la société n'a aucunement l'intention de prendre les mesures appropriées pour stabiliser l'environnement.

chemin de développement (3) sur le plan écologique, la stabilité à long terme de l'environnement européen n'est aucunement garantie. Voilà une question qui mérite d'être examinée beaucoup plus en profondeur.

On ne trouve aucune définition précise de l'expression *qui respecte l'environnement*. Toutefois, on explique plus en détail à la Section 8.2 les mesures qui favoriseraient une telle situation à l'échelon mondial.

7.2. Cadre d'évaluation de la gravité des dilemmes

Même en limitant à quatre le nombre de chemins de développement pour l'Europe, on peut recourir à un nombre assez élevé d'indicateurs et de composants environnementaux pour évaluer chaque option (voir le *Tableau 2.1*). Ici encore, une liste très abrégée s'impose surtout si l'on doit comparer les chemins de développement. Dans des études ultérieures, il serait avantageux d'évaluer les conséquences sociales de diverses autres combinaisons des scénarios et des ruptures exposés à la Section 4.

Une bonne façon de mener l'évaluation est de recourir à une liste abrégée des dilemmes présentés à la Section 5.* Pour chacun de ces dilemmes, les caractéristiques suivantes des conditions futures hypothétiques prennent de l'importance:

Facteur	Explications
(1) <i>Intensité</i>	Gravité par unité de surface ou de population
(2) <i>Étendue</i>	Aspects spatiaux
(3) <i>"Préventibilité"***</i>	La société est-elle désireuse et capable d'agir assez tôt pour prévenir ou améliorer la situation avant qu'elle ne s'aggrave?
• Pré-alerte	Le problème écologique peut-il être décelé avant que ses effets n'apparaissent?
• Incertitude	Degré de certitude des prédictions du modèle
• Technologie disponible	Peut-il être faire appel à des moyens technologiques pour prévenir ou régler le problème?
• Coût	Les mesures nécessaires pour faire face au problème sont-elles dispendieuses?
• Acceptabilité sociale/ politique	Y a-t-il des obstacles politiques ou sociaux trop importants à surmonter pour régler le problème?

*On ne tiendra pas compte du problème du contrôle des émissions mondiales de CO₂ (Section 5.1.8) parce qu'il est implicite dans les chemins de développement (2) et (4).

**Comparaison du temps d'intervention nécessaire pour mobiliser la société face à la perception d'une menace environnementale et du temps qu'il rest avant le début de la pleine manifestation des conséquences.

- | | |
|---|---|
| (4) <i>Temps de réaction de l'environnement</i> | Dès que la société prend les mesures correctives, combien de temps faut-il à l'environnement pour récupérer (années, décennies, siècles)? |
| (5) <i>Adaptabilité sociale</i> | Si le problème ne peut être prévenu ni résolu, la société est-elle désireuse ou capable de s'adapter aux nouvelles conditions? |

Les *Tableaux 7.1 à 7.4* évaluent, pour chaque chemin de développement, la gravité des caractéristiques individuelles par rapport à chacun des dilemmes pour l'an 2030. On a attribué dans chaque case du tableau un nombre de 1 à 3 selon la gravité du problème, de la façon suivante:

- 1: aucunement sérieux
- 2: moyennement sérieux
- 3: très sérieux.

Le nombre indiqué sous la rubrique *Préventibilité* est la moyenne arithmétique de cinq facteurs secondaires. Le calcul se base sur le fait que ces cinq facteurs aident à savoir d'une manière générale si la société est désireuse ou capable de réagir assez vite pour devancer ou améliorer le problème. Par comparaison, le facteur *Temps de réaction de l'environnement* indique dans combien de temps l'environnement réagira aux mesures dès qu'elles auront été prises. Il est évident qu'un effet irréversible donnera lieu à un temps de réaction infini et à une valeur de gravité de 3.

Il est important de signaler qu'une échelle simplifiée (1, 2 ou 3) a été choisie parce qu'il s'agit, par nécessité, d'un jugement qualitatif. Selon nous, une échelle plus perfectionnée donnerait une impression erronée de précision. Il n'y a à l'heure actuelle aucune méthode quantitative généralement acceptée qui permette de comparer la gravité de problèmes écologiques très disparates. Ainsi, les études récentes qui ont évalué la gravité d'un ensemble de questions environnementales ont utilisé une méthode qualitative (Darmstadter *et al.*, 1987; EPA, 1987). Comme le signale l'étude de l'EPA aux États-Unis (1987), les résultats de ce genre d'analyse qualitative peuvent être considérés comme des jugements exacts et sans aucun doute très peu éloignés de la réalité. Cette étude indique également qu'il n'est pas obligatoire de fixer les priorités avec une précision absolue. Il faut plutôt que cette précision soit suffisamment élevée pour permettre d'attribuer un rang à chaque priorité. Nous adaptons ici une approche qualitative de ce genre et nous croyons que la méthode peut servir à comparer la gravité des divers dilemmes à l'échelle de l'Europe. Dans certaines régions, les préoccupations et les priorités différeront, mais on pourra facilement adapter notre méthode pour répondre aux exigences d'autres évaluations. Les *Tableaux 7.1 à 7.4* renferment trop de renseignements pour permettre de juger à l'oeil la gravité relative des diverses combinaisons de dilemmes et de chemins de développement. Cependant, nous les présentons quand même avec, en plus, notre meilleure estimation de la gravité de chaque chemin de développement, dilemme et caractéristique propre à chaque dilemme. Les renseignements sont agrégés à la Section 7.3.

Tableau 7.1. Chemin de développement 1 pour l'an 2030: Continuation des tendances actuelles en Europe et ailleurs. Les nombres 1, 2, et 3 représentent la gravité de faible à élevée de la caractéristique évaluée.

Dilemmes	Inten- sité	Éten- due	Préventabilité					Valeur moyenne	Temps de réaction de l'en- vironne- ment	Adap- tati- vité de la société
			Pré- alerte	Incer- titude	Tech- nolo- gie exis- tante	Coûts	Accep- tati- vité sociale			
Gestion de l'eau	2	2	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	2	2	2
Acidi- fication des sols	3	2	(3)	(1)	(1)	(3)	(2)	2	2	3
Approvi- sionne- ment en bois de forêts	2	1	(2)	(3)	(1)	(2)	(1)	2	2	2
Terres margina- lisées	2	2	(2)	(1)	(1)	(2)	(2)	2	1	2
Questions côtières • Niveau de la mer • Pollution	2 2	2 2	(2) (2)	(3) (1)	(2) (2)	(2) (2)	(2) (2)	2 2	2 1	2 2
Bombes chimiques à retar- dement	2	1	(3)	(3)	(3)	(2)	(2)	3	3	2
Sources toxiques non pon- ctuelles	2	1	(3)	(3)	(3)	(2)	(2)	3	3	2
Croissance des trans- ports	3	3	(2)	(3)	(3)	(3)	(2)	3	3	3
Urbani- sation	1	1	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)	1	1	1
Épisodes d'oxyda- tion en été	3	2	(1)	(2)	(2)	(2)	(2)	2	1	2

Tableau 7.2. Chemin de développement 2 pour l'an 2030: Croissance élevée de l'économie en Europe et ailleurs (sans grande préoccupation pour l'environnement). Les nombres 1, 2, et 3 représentent la gravité de faible à élevée de la caractéristique évaluée.

Dilemmes	Inten- sité	Éten- due	Préventabilité						Temps de réaction de l'en- vironne- ment	Adap- tati- vité de la société
			Pré- alerte	Incer- titude	Tech- nolo- gie exis- tante	Coûts	Accep- tati- vité sociale	Valeur moyenne		
Gestion de l'eau	3	2	(2)	(3)	(2)	(3)	(2)	2	3	3
Acidi- fication des sols	3	3	(1)	(1)	(1)	(3)	(2)	2	3	3
Approvi- sionne- ment en bois de forêts	3	3	(2)	(3)	(3)	(3)	(3)	3	3	3
Terres margina- lisées	2	3	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	2	2	2
Questions côtières • Niveau de la mer • Pollution	3 3	2 2	(2) (2)	(3) (2)	(2) (2)	(3) (3)	(3) (2)	3 2	3 2	3 2
Bombes chimiques à retar- dement	3	2	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	3	3	3
Sources toxiques non ponc- tuelles	3	2	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	3	3	3
Croissance des trans- ports	3	3	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	3	3	3
Urbani- sation	2	2	(1)	(2)	(2)	(2)	(3)	2	2	2
Épisodes d'oxyda- tion en été	3	3	(1)	(2)	(2)	(3)	(3)	2	2	3

Tableau 7.3. Chemin de développement 3 pour l'an 2030: Économie respectant l'environnement en Europe et ailleurs. Les nombres 1, 2, et 3 représentent la gravité de faible à élevée de la caractéristique évaluée.

Dilemmes	Inten- sité	Éten- due	Préventabilité					Temps de réaction de l'en- vironne- ment	Adap- tabilité de la société	
			Pré- alerte	Incer- titude	Tech- nologie exis- tante	Coûts	Accep- tabilité sociale			Valeur moyenne
Gestion de l'eau	1	1	(1)	(2)	(1)	(1)	(1)	1	1	1
Acidi- fication des sols	1	1	(1)	(1)	(1)	(3)	(1)	1	1	1
Approvi- sionne- ment en bois de forêts	1	1	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	1	1	1
Terres margina- lisées	1	1	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)	1	1	2
Questions côtières • Niveau de la mer • Pollution	1 1	1 1	(1) (1)	(2) (2)	(1) (1)	(1) (2)	(1) (1)	1 1	1 1	1 1
Bombes chimiques à retar- dement	2	1	(2)	(2)	(1)	(2)	(1)	2	2	1
Sources toxiques non ponc- tuelles	2	1	(2)	(2)	(1)	(2)	(1)	2	2	1
Croissance des trans- ports	2	3	(1)	(2)	(2)	(3)	(1)	2	2	2
Urbani- sation	1	1	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)	1	1	1
Épisodes d'oxyda- tion en été	1	1	(1)	(2)	(2)	(3)	(1)	2	1	1

Tableau 7.4. Chemin de développement 4 pour l'an 2030: Économie respectant l'environnement en Europe mais non ailleurs. Les nombres 1, 2, et 3 représentent la gravité de faible à élevée de la caractéristique évaluée.

Dilemmes	Inten- sité	Éten- due	Préventabilité					Valeur moyenne	Temps de réaction de l'en- vironne- ment	Adap- tabilité de la société
			Pré- alerte	Incer- titude	Tech- nolo- gie exis- tante	Coûts	Accep- tabilité sociale			
Gestion de l'eau	3	2	(2)	(3)	(2)	(3)	(2)	2	3	3
Acidi- fication des sols	1	1	(1)	(2)	(1)	(3)	(1)	2	1	1
Approvi- sionne- ment en bois de forêts	2	2	(2)	(3)	(2)	(3)	(2)	2	3	3
Terres margina- lisées	2	3	(2)	(2)	(2)	(3)	(2)	2	2	2
Questions côtières • Niveau de la mer • Pollution	3 1	2 1	(2) (1)	(3) (2)	(2) (1)	(3) (2)	(1) (1)	2 1	3 2	3 2
Bombes chimiques à retar- dement	3	2	(3)	(3)	(2)	(3)	(1)	2	2	1
Sources toxiques non pon- ctuelles	2	1	(2)	(2)	(1)	(2)	(1)	2	2	1
Croissance des trans- ports	2	3	(2)	(2)	(2)	(3)	(1)	2	2	2
Urbani- sation	2	2	(1)	(2)	(1)	(3)	(2)	2	2	2
Épisodes d'oxyda- tion en été	2	2	(1)	(2)	(2)	(3)	(1)	2	1	2

7.3. Conséquences de divers chemins de développement sur l'environnement

7.3.1. Évaluation de différents chemins

Le *Tableau 7.5* résume, pour chaque combinaison de chemins de développement et de dilemmes exposés aux *Tableaux 7.1 à 7.4*, notre évaluation globale de gravité pour l'an 2030. Pour obtenir les nombres au *Tableau 7.5*, nous avons d'abord additionné les chiffres correspondant aux cinq facteurs dans chaque ligne du tableau. Cela nous a donné des "points bruts" s'échelonnant entre 5 et 15. Nous les avons ensuite transformés en une échelle de trois valeurs d'après la formule suivante: $5-8 = 1$; $9-11 = 2$; $12-15 = 3$. Nous avons utilisé à la fois les "points bruts" et les valeurs lissées pour les analyses de la Section 7.3.2. La lecture d'une ligne du *Tableau 7.5* révèle que la note d'un dilemme particulier varie selon le chemin de développement. À la verticale, on peut observer la gravité de chaque dilemme en regard d'un chemin de développement donné. Le tableau présente aussi le rang des dilemmes dans les années 1980. L'addition des chiffres de chaque colonne donne un indice global de gravité des dilemmes pour chaque chemin de développement. Le pointage minimum, 11, correspond à l'environnement le plus favorable. Le pointage maximum, 33, correspond à l'environnement le moins favorable. La faible valeur (14) attribuée à l'environnement des années 1980 ne doit pas signifier que l'environnement actuel en Europe est dénué de tout problème d'importance. Ce chiffre indique plutôt que nous n'avons pas encore connu de conséquences graves à l'égard des dilemmes que nous avons choisis. De fait, les dilemmes ont été choisis parce qu'ils représentent les problèmes pour l'avenir et non pas des difficultés qui se sont actuellement pleinement manifestées.

Par rapport aux années 1980, on peut observer que le chemin 1 (*continuation des tendances actuelles en Europe et ailleurs*) déboucherait sur un environnement un peu plus dégradé en l'an 2030 puisque tous les dilemmes, à l'exception de l'urbanisation et des épisodes d'oxydation en été, deviendraient plus sérieux. Les dilemmes sont en quelque sorte atténués seulement par une fluctuation moyenne de la température en Europe.

Le chemin 2 (*croissance élevée de l'économie en Europe et ailleurs, mais faible préoccupation pour l'environnement*) entraînerait une détérioration énorme de l'environnement dans tous les dilemmes. Une partie de cette dégradation est attribuable à des activités particulières à l'Europe qui entraîneront une consommation accrue des richesses naturelles et une augmentation des produits chimiques dans l'environnement. Une grande fluctuation des températures à l'échelle mondiale crée des problèmes au niveau de la *gestion de l'eau, de l'élévation du niveau de la mer et des épisodes d'oxydation en été*, tandis que le déboisement mondial influe sur les approvisionnements en bois des forêts.

Le chemin 3 (*économie respectant l'environnement en Europe et ailleurs*) est le seul pour lequel nous avons largement résolu les dilemmes, bien que le problème de la croissance des transports demeure à cause de l'accroissement rapide de la demande de transports aériens et routiers.

Tableau 7.5. Rang des dilemmes pour les années 1980 selon le chemin de développement adopté pour l'an 2030. Les nombres 1, 2, et 3 représentent le niveau de gravité, de faible à élevé.

<i>Dilemmes</i>	<i>Années 1980</i>	<i>Chemin 1 Continuation des tendances actuelles (Europe et ailleurs)</i>	<i>Chemin 2 Croissance élevée de l'économie/ faible préoc- cupation pour l'environnement (Europe et ailleurs)</i>	<i>Chemin 3 Économie respectant l'environne- ment (Europe et ailleurs)</i>	<i>Chemin 4 Économie respectant l'environnement (Europe mais non ailleurs)</i>
Gestion de l'eau	1	2	3	1	3
Acidification des sols	2	3	3	1	1
Approvisionnement en bois de forêts	1	2	3	1	3
Terres marginalisées	1	2	2	1	2
Questions côtières					
• Niveau de la mer	1	2	3	1	3
• Pollution	1	2	2	1	1
Bombes chimiques à retardement	1	2	3	1	2
Sources toxiques non ponctuelles	1	2	3	1	1
Croissance des transports	2	3	3	2	2
Urbanisation	1	1	2	1	2
Épisodes d'oxydation en été	2	2	3	1	2
Total	14	23	30	12	22

Le chemin 4 (*économie respectant l'environnement en Europe, mais non ailleurs*) présente un intérêt particulier parce qu'il fait ressortir la question importante du lien entre l'environnement européen et l'environnement mondial. Il représente donc le niveau optimal auquel l'Europe pourrait prétendre dans la protection de son environnement lorsque le reste du monde affichera une croissance élevée et non stabilisée de son développement. Comparativement au "chemin 2", qui est le pire scénario, on peut constater que l'Europe profiterait indéniablement d'un chemin de développement qui respecte l'environnement chez elle (note 22 au lieu de 30 sur l'échelle de gravité).

Une dernière remarque s'impose dans le *Tableau 7.5* au sujet de la quasi-équivalence (23 contre 22) de la gravité des chemins 1 et 4 (*continuation des tendances actuelles en Europe et ailleurs et économie respectant l'environnement en Europe mais non ailleurs*). Dans les deux cas, des problèmes graves surviennent en l'an 2030 mais ils sont de nature différente:

Chemin (1) (réchauffement modéré du climat)	Chemin (4) (réchauffement élevé du climat)
<ul style="list-style-type: none"> • acidification des sols • croissance des transports 	<ul style="list-style-type: none"> • gestion de l'eau • approvisionnement en bois de forêts • élévation du niveau de la mer

On ne doit donc pas déduire du *Tableau 7.5* que les chemins (1) et (4) ont des répercussions globales plus ou moins équivalentes sur l'environnement. De fait, si nous envisagions un cinquième chemin de développement (*continuation des tendances actuelles en Europe mais réchauffement élevé du climat*), les problèmes "très graves" seraient plus nombreux que les trois liés au chemin 4.

Ces conclusions laissent fortement entendre que l'Europe aurait avantage à mettre rapidement en oeuvre un développement économique qui respecte l'environnement. Toutefois, une telle mesure ne pourra résoudre les nombreux dilemmes écologiques à long terme auxquels l'Europe fait face. Comme l'indique clairement le *Tableau 7.5*, il est nécessaire de promouvoir des stratégies de ce genre non seulement en Europe mais aussi dans le reste du monde. L'Europe devrait assumer un rôle de leader dans cette tâche des plus importantes en donnant l'exemple et en offrant des stimulants financiers et technologiques.

7.3.2. Ordre des dilemmes

Deux questions restent à examiner:

- Quels dilemmes sont les plus sensibles au chemin de développement choisi?
- Pour chaque chemin de développement, quels dilemmes sont les plus graves?

Le *Tableau 7.6* répond à la première question.* Comme on peut le constater, *la gestion de l'eau, l'acidification des sols, les approvisionnements en bois de forêts et l'élévation du niveau de la mer* sont les questions le plus sensibles au chemin de développement choisi. En revanche, *la croissance des transports et l'urbanisation* sont assez peu influencées par le chemin de développement retenu.

Tableau 7.6. Regroupement des dilemmes en fonction de leur sensibilité aux chemins de développement pour l'an 2030.

<p><i>Assez sensible au chemin de développement</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Gestion de l'eau • Acidification des sols • Approvisionnement en bois de forêts • Élévation du niveau de la mer <p><i>Moyennement sensible au chemin de développement</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Terres marginalisées • Pollution côtière • Bombes chimiques à retardement • Sources non ponctuelles • Épisodes d'oxydation en été <p><i>Assez insensible au chemin de développement</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Croissance des transports • Urbanisation
--

Le *Tableau 7.7* répond à la deuxième question en présentant les dilemmes qui devraient préoccuper le plus les Européens dans chacun des quatre chemins de développement. La première observation à faire au sujet de ce tableau est que l'ordre des dilemmes varie d'un chemin à l'autre et cela, sans aucun doute, compliquera la formulation de politiques qu'on s'attendrait robustes pour la gamme des chemins de développement. En second lieu, le tableau souligne à nouveau un commentaire précédent selon lequel la gravité des problèmes économiques auxquels l'Europe fera face en l'an 2030 reposera sur deux facteurs:

- (1) Absence de mesures efficaces à l'échelle mondiale visant à contrôler les gaz de l'effet de serre et le déboisement (chemins de développement 2 et 4 et, dans une certaine mesure 1), débouchant sur de graves problèmes en Europe au niveau de *la gestion de l'eau, des approvisionnements en bois de forêts et de l'élévation du niveau de la mer.*
- (2) Absence de mesures efficaces en Europe visant à contrôler la dégradation locale et régionale de l'environnement (chemins de développement 1 et 2), débouchant sur de graves problèmes au niveau de *l'acidification des sols et de la croissance des transports.*

*Pour dresser les *Tableaux 7.6* et *7.7*, nous avons utilisé les "points bruts" (qui s'échelonnent de 5 à 15); pour plus de détails, consulter les auteurs.

Tableau 7.7. Ordre des dilemmes pour les années 1980 et pour chaque chemin de développement pour l'an 2030.

<i>Chemin</i>	<i>Très grave</i>	<i>Moyennement grave</i>	<i>Aucunement grave</i>
Années 1980		Acidification des sols Croissance des transports Épisodes d'oxydation en été	Gestion de l'eau Approvisionnement en bois de forêts Terres marginalisées Niveau de la mer Pollution côtière Bombes chimiques à retardement Sources toxiques non ponctuelles Urbanisation
Continuations des tendances actuelles (Europe et ailleurs)	Acidification des sols Croissance des transports	Gestion de l'eau Approvisionnement en bois de forêts Terres marginalisées Niveau de la mer Pollution côtière Bombes chimiques à retardement Sources toxiques non ponctuelles Épisodes d'oxydation en été	Urbanisation
Croissance élevée de l'économie/faible préoccupation pour l'environnement (Europe et ailleurs)	Gestion de l'eau Acidification des sols Approvisionnement en bois de forêts Niveau de la mer Bombes chimiques à retardement Sources toxiques non ponctuelles Croissance des transports Épisodes d'oxydation en été	Terres marginalisées Pollution côtière Urbanisation	
Économie respectant l'environnement (Europe et ailleurs)		Croissance des transports	Gestion de l'eau Acidification des sols Approvisionnement en bois de forêts Terres marginalisées Niveau de la mer Pollution côtière Bombes chimiques à retardement Sources toxiques non ponctuelles Urbanisation Épisodes d'oxydation en été
Économie respectant l'environnement (Europe mais non ailleurs)	Gestion de l'eau Approvisionnement en bois de forêts Niveau de la mer	Terres marginalisées Bombes chimiques à retardement Croissance des transports Urbanisation Épisodes d'oxydation en été	Acidification des sols Pollution côtière Sources toxiques non ponctuelles

Le chemin 2 est le pire puisqu'il y a à la fois absence de mesures à l'échelon mondial et européen. Cette situation débouche non seulement sur les cinq problèmes énumérés précédemment mais également sur trois autres très graves, notamment *les bombes chimiques à retardement, les sources toxiques non ponctuelles et les épisodes d'oxydation en été.*

Enfin, le *Tableau 7.8* sert à faire ressortir les conséquences très importantes qu'un réchauffement marqué des températures aurait sur l'environnement européen. La presque totalité des 11 dilemmes deviennent plus urgents à mesure qu'augmente la probabilité d'une grande variation climatique.

Tableau 7.8. Conséquences possibles sur l'environnement européen d'un réchauffement marqué des températures à l'échelon mondial.

<i>Dilemme</i>	<i>Conséquence</i>
Gestion de l'eau	Modifications profondes au niveau des approvisionnements en eau (à la fois augmentation et diminution).
Acidification des sols	Des variations climatiques modifieraient la fréquence des pluies acides (amélioration dans certaines régions par rapport à d'autres).
Approvisionnements	Hausse des températures, modifications en bois de forêts grave des forêts boréales.
Terres marginalisées	Certaines régions pourraient devenir impropres aux utilisations actuelles à cause d'une intrusion de l'eau de mer, du déplacement en latitude des régions de production culturelle optimale, etc.
Pollution côtière	Élévation du niveau de la mer entraînant une salinisation des sols et des nappes phréatiques; inondation des décharges toxiques situées près des côtes.
Bombes chimiques à retardement	Élévation du niveau de la mer avec déversement de sédiments hautement pollués dans les eaux propres; assèchement des marécages causant la libération de nombreuses matières toxiques.
Sources toxiques non ponctuelles	Aucune conséquence grave si le recyclage est efficace.
Croissance des transports	Aucune conséquence directe particulière.
Urbanisation	L'utilisation actuelle des terres urbaines en régions côtières et alpines pourrait ne plus convenir après une modification climatique.
Épisodes d'oxydation en été	Augmentation de NO _x à la suite d'une demande accrue d'électricité, surtout pour la climatisation en été dans le sud de l'Europe.

8. Conclusions principales et recommandations générales à l'égard de politiques propres à stabiliser l'environnement européen

8.1. Conclusions principales

D'après les analyses présentées à la Section 7, l'étude arrive aux grandes conclusions qui suivent:

Conclusions principales

- À cause du lien existant entre l'environnement européen et l'environnement mondial, il n'est pas possible d'atteindre pleinement une stabilisation de l'environnement européen au XXI^e siècle sans d'abord stabiliser l'environnement mondial.
- La continuation des tendances actuelles du développement économique et de la protection environnementale en Europe et ailleurs n'est pas suffisante pour empêcher une plus grande détérioration de l'environnement européen.
- Une croissance économique élevée en Europe et ailleurs sans des mesures appropriées de protection de l'environnement débouchera sur des problèmes écologiques encore plus graves.
- Un développement respectant l'environnement en Europe offre l'espoir d'atténuer les problèmes locaux et régionaux particuliers à l'Europe.
- Toutefois, de telles mesures ne peuvent par elles-mêmes résoudre les problèmes qui surviendront en Europe à cause de modifications à l'échelle de la planète. Pour y parvenir, il faudra que le reste du monde adopte aussi des chemins de développement qui respectent l'environnement.
- Par conséquent, les pays européens doivent faire tout ce qui est en leur pouvoir pour mettre en oeuvre un développement qui respecte l'environnement à la fois en Europe et dans le reste du monde.

8.2. Recommandations générales pour des politiques propres à stabiliser l'environnement européen

8.2.1. Un développement axé sur la stabilité de l'environnement: cadre conceptuel de la politique écologique européenne

On définit un *développement axé sur la stabilité de l'environnement* (développement "soutenable") comme celui qui répond aux besoins du présent sans empiéter sur la capacité des générations à venir de répondre à leurs propres besoins (CMED, 1987). Il est indéniable que tous les pays partagent ce but.

Cependant, on n'a pas encore établi clairement la façon de le réaliser, bien que le chemin de développement 3 de notre analyse (*économie respectant l'environnement en Europe et ailleurs*) semble approcher cet objectif. [Voir Turner (1988) et Munn (1988) pour une discussion plus détaillée.]

La première condition préalable à un développement stable est d'amener les sociétés européennes à admettre que bon nombre des grandes préoccupations écologiques auxquelles l'Europe fait face sont des problèmes à long terme (sur un demi-siècle), à grande échelle (continentale ou mondiale), interreliés et susceptibles de déboucher sur des surprises (comme des bombes chimiques à retardement).

Comme deuxième condition préalable, les sociétés doivent en venir à accepter de sacrifier des gains à court terme (économiques ou autres) pour le bénéfice à long terme des générations à venir. Toutefois, cette condition ne se réalisera que si les sociétés possèdent suffisamment de renseignements pour admettre la nécessité de ce sacrifice et si les gouvernements accordent les moyens (comme des stimulants) pour que les gens sentent qu'ils sont traités convenablement. À l'intérieur de ce cadre, on peut faire quelques recommandations générales.

8.2.2. Promouvoir un développement respectant l'environnement en Europe et dans le monde

Europe. Les sociétés européennes doivent agir de manière que les problèmes écologiques à long terme et à grande échelle puissent être abordés sans tarder afin qu'ils ne s'aggravent pas dans l'avenir. Le *Tableau 8.1* présente des exemples de mesures de ce genre pour chacun des dilemmes.

Le monde. Les pays européens devraient utiliser leur influence dans les diverses tribunes internationales pour promouvoir dans toutes les parties du monde un développement axé sur la stabilité de l'environnement. Il s'agirait, notamment, de favoriser le transfert au Tiers-Monde de technologies qui respectent l'environnement et d'encourager le genre de mesures prônées au *Tableau 8.1*. Même dans son propre intérêt, l'Europe devrait donner l'exemple dans la réduction des émissions des gaz de l'effet de serre et encourager les autres régions à l'imiter. (Les objectifs fixés en 1988 à Toronto pouvant servir de base à la mise en oeuvre d'une politique commune.)

8.2.3. Recommandations aux citoyens

Il importe avant tout que le public soit sensibilisé de plus en plus à l'environnement. Les citoyens doivent accepter de prendre en charge l'environnement comme leur responsabilité personnelle. Ils doivent envisager la stabilité de l'environnement et sa réalisation comme une obligation envers les générations à venir. Parmi les moyens non négligeables que les gens peuvent utiliser à cette fin, notons:

Tableau 8.1. Mesures d'atténuation respectant l'environnement.

<i>Dilemme</i>	<i>Mesure</i>
Gestion de l'eau	Acceptation par le public de pratiques d'économie de l'eau; élaboration et mise en oeuvre de techniques permettant d'économiser l'eau.
Acidification des sols	Diminution importante des émissions de SO _x et de NO _x par la mise en oeuvre de techniques de nettoyage.
Approvisionnements en bois de forêts	Diminution de l'ozone et de l'acidité; planification à long terme des coupes forestières.
Terres marginalisées	Programme de protection des sols et de préservation des paysages, de reboisement, etc.
Pollution côtière	Diminution importante du ruissellement de N et de P provenant des engrais; installation d'usines de traitement des eaux usées.
Bombes chimiques à retardement	Introduction de systèmes de surveillance de pré-alerte; examen des facteurs à la base des libérations soudaines de produits chimiques; établissement d'un "registre international des incidents".
Sources toxiques non ponctuelles	Recyclage sur grande échelle des produits commerciaux et domestiques; diminution du ruissellement de N et de P provenant des engrais; utilisation de produits adaptés à l'environnement; lutte coordonnée contre les ravageurs agricoles.
Croissance des transports	Utilisation de combustibles propres et de techniques de combustion propres.
Urbanisation	Planification à long terme de l'utilisation des terres avec un large appui du public.
Épisodes d'oxydation	Diminutions importantes de NO _x et des émissions en été

- Économiser l'énergie, l'eau et les matières.
- Recycler les déchets.
- Choisir des produits adaptés à l'environnement, c'est-à-dire ceux qui exigent le moins d'énergie à produire et dont les résidus ou l'utilisation finale causent le moins de dégâts à l'environnement.
- Participer, en tant que consommateurs, à des activités touchant la protection de l'environnement.

Avant que le public ne manifeste un tel engagement, les gouvernements devront appuyer fortement des programmes d'éducation qui sensibiliseront le profane aux questions écologiques essentielles et qui le motiveront à agir. Il sera également important que les gouvernements mettent à la disposition des citoyens et du secteur privé les renseignements sur l'environnement qui leur permettront de prendre des décisions pertinentes en la matière.

8.2.4. Recommandations aux secteurs de l'industrie, de l'agriculture, des forêts et des affaires

Ces quatre secteurs peuvent largement contribuer à promouvoir un développement stable. Il est clair que l'industrie connaît déjà les problèmes et opportunités qui s'offrent à elle, comme en témoignent de récentes publications comme WICEM (1984) et CONCAWE (1987). Cependant, comme le soulignait Yu. Izrael* (communication personnelle, 1988), les stratégies les plus rentables de gestion de l'environnement pour le long terme sont très différentes de celles qui s'appliquent au court terme. De plus, les nombreux liens complexes qui existent entre les facteurs économiques, techniques et institutionnels rendent difficile le choix de la "meilleure" stratégie. Dans certains cas, par exemple des industries sur le déclin, il pourra être sage d'opter pour des mesures à court terme tandis que pour des industries naissantes, il sera primordial de mettre en oeuvre des stratégies à long terme auxquelles il faudra peut-être accoler des stimulants économiques ou autres. D'une manière générale, toutefois, il est possible de promouvoir un développement durable, notamment par:

- Des économies d'énergie, d'eau et de matières premières dans la transformation industrielle.
- La diminution des déchets, p. ex., par le recyclage et l'élaboration de procédés de fabrication qui utilisent de façon plus complète les matériaux; (on reconnaît de plus en plus le coût excessif de la manutention des déchets, de sorte que la diminution des déchets représente une option économiquement rentable (Hollod et McCartney, 1988).
- Du matériel plus efficace contre la pollution dans les usines, les centrales d'énergie, les automobiles, etc. Dans la Communauté européenne, la lutte contre la pollution intervient déjà pour plus de 1% du produit régional brut des collectivités (CONCAWE, 1987). Signalons, cependant, que les sommes affectées à la lutte contre la pollution dans les pays de la CEE seraient inférieures au coût des dommages causés par la pollution (CEE, 1987).**
- La promotion de pratiques d'évaluations des nouvelles technologies et des nouveaux produits de manière à accorder la priorité à ceux qu'on jugerait le moins nuisibles à l'environnement.
- La promotion active de produits et de technologies respectant l'environnement, notamment au stade de la recherche.
- La diminution de la pollution agricole par des stratégies visant à limiter à un niveau minimum l'excédent de pesticides et d'engrais chimiques. Au nombre de ces stratégies, mentionnons les pratiques d'économie, les nouvelles technologies plus efficaces et moins polluantes et enfin la

*Président de la Commission d'État sur l'hydrométéorologie en URSS.

**Le Secrétariat de la CEE fait observer (CEE, 1987), que: "Les membres de la CEE continuent à utiliser les ressources de leur environnement soit parce que la capacité d'assimilation de l'environnement est déjà dépassée, soit parce que des activités non favorables à l'environnement sont en cours."

promotion de moyens coordonnés de lutte contre les ravageurs, comme la lutte biologique (Bal et van Lenteren, 1987).

Enfin, comme le soulignait A.S. Isaev* (communication personnelle, 1988), l'industrie forestière a des responsabilités spéciales dans la gestion de l'environnement. Les espaces boisés jouent un rôle primordial dans la stabilisation du milieu naturel en influençant et en régissant largement les cycles hydrologiques et, par conséquent, le débit des cours d'eau et les conditions hydrométriques locales. Ils servent également à filtrer les polluants atmosphériques et ainsi à protéger les sols et les plans d'eau vulnérables à l'intérieur des bassins hydrographiques boisés. Par exemple, la pureté particulière de l'eau du lac Baikal est la conséquence du filtrage exercé par les forêts avoisinantes.

Il convient donc de ne pas envisager les forêts uniquement comme une "mine" de produits forestiers et de papier, mais bien de les gérer afin de tirer profit de leur rôle positif dans l'environnement. En RFA, les autorités comptent planter des forêts à la fois pour des activités de loisir et la préservation de l'environnement. Des mesures du même genre devraient être examinées dans d'autres pays. Ainsi, en URSS, il sera nécessaire de boiser les terres apparues à la suite du recul de la mer Aral, afin de protéger les sols du sel qui s'y dépose par la voie des airs.

8.2.5. Recommandations aux gouvernements

L'interdiction et la réglementation ne sont que deux des instruments à la disposition des gouvernements pour améliorer la qualité de l'environnement. Il y a d'autres mesures qui pourraient s'avérer plus efficaces dans de nombreux cas, par exemple des stimulants, des régimes de prix, une taxe sur les déversements d'effluents ou sur les émissions de CO₂, des politiques commerciales internationales et d'autres mécanismes. Voici quelques exemples:

- Accorder des stimulants pour favoriser l'économie de l'énergie et de l'eau, le recyclage des déchets et la diminution des déchets industriels.
- Accorder un soutien financier aux recherches industrielles ayant pour but d'améliorer l'efficacité énergétique dans divers domaines comme l'habitation, l'automobile, les appareils ménagers.
- Accorder des stimulants pour la préservation des sols productifs à des fins agricoles (OCDE, 1979); (il conviendrait de donner des stimulants aux promoteurs pour qu'ils aménagent les projets d'habitation, les industries et les installations de loisir sur des sols moins productifs); appuyer des programmes d'éducation ayant pour but de sensibiliser le profane aux questions écologiques primordiales.

*Président de la Commission d'État sur la foresterie en URSS.

- Diffuser des renseignements pertinents aux citoyens, à l'industrie, aux agriculteurs et aux hommes d'affaires pour leur permettre de prendre des décisions valables sur le plan écologique.
 - (a) Publication de répertoires de richesses naturelles et banques de données connexes.
 - (b) Étiquetage des produits de consommation adaptés à l'environnement.
- Faire mieux appliquer dans les différents pays le principe "pollueur - payeur", notamment à l'échelle de bassins géographiques.

8.2.6. Recommandations aux organismes internationaux

Les dilemmes exposés dans le présent rapport sont généralement d'une telle ampleur qu'ils touchent à une foule de pays européens. Aussi, des organismes intergouvernementaux comme la CEE, la CE, la CAEM, l'AELC, l'OCDE et l'OMS-Europe représentent d'importants partenaires dont l'aide devra être sollicitée si l'on veut faire ressortir les grandes questions écologiques à long terme pour l'Europe. À l'heure actuelle, ces organismes ont mis sur pied des groupes de travail dont la coordination et l'harmonisation sont inestimables dans le contexte de l'environnement européen. Voir, par exemple, CEE (1986, 1987, 1988b). Les approches adoptées conviennent très bien pour résoudre les problèmes de la décennie actuelle et de la prochaine (p. ex., transport des matières dangereuses, pollution des fleuves et des mers intérieures). Toutefois, on pourrait accorder une plus grande place à l'approche intégrée qui est nécessaire pour faire face aux vastes modifications interdépendantes qui sont prévues au cours des 50 prochaines années. Même les données de surveillance dont on a besoin pour évaluer l'environnement européen d'une façon globale sont pour la plupart absentes. Notre but n'est pas de critiquer les organismes intergouvernementaux mais bien de leur suggérer d'élargir leur perspective comme cela se fait d'ailleurs dans certains cas et dans certains pays. *L'exercice de politiques* est un outil qui les aiderait à établir les grandes questions écologiques à long terme à l'ordre du jour. L'adoption de cette approche au niveau de toute l'Europe est d'ailleurs une recommandation principale de notre étude.

Sur le plan international, les programmes (comme le Programme de modification globale du CIUS) et les organismes non gouvernementaux (comme IIASA, SCOPE, UICN) peuvent aussi largement contribuer à résoudre toute la gamme des questions écologiques, de régionales à globales, et à établir une meilleure base scientifique pour la formulation de politiques environnementales.

Enfin, les Nations Unies et les institutions financières internationales comme la Banque mondiale et le Fonds monétaire international peuvent jouer un rôle important et primordial en insistant, dans les pays du Tiers-Monde, sur les bénéfices d'un développement axé sur l'environnement. Du fait que l'économie mondiale est si étroitement liée à l'environnement mondial, tous les efforts doivent être déployés pour atteindre la stabilité écologique dans une perspective globale.

9. Recommandations à l'égard d'autres études

L'analyse que nous avons présentée reposait sur trois éléments: des scénarios, des évaluations et des propositions de politiques. Il s'agissait toutefois uniquement d'une première tentative pour cerner un sujet qui mérite une analyse beaucoup plus approfondie. On trouvera ci-dessous des recommandations pour des recherches supplémentaires qui aideraient à expliquer ces divers éléments dans le contexte européen.

9.1. Tâches relatives à la construction de scénarios

9.1.1. Modèles d'utilisation des terres: évaluation de nouveaux modes d'utilisation des terres provoqués par des interventions humaines

Les activités humaines qui se traduisent dans les progrès socio-économiques et géopolitiques servent largement à déterminer l'utilisation des terres. Mais, les conditions biophysiques ont aussi des conséquences importantes puisqu'elles fixent les limites aux utilisations possibles des ressources ou en définissent les potentialités d'emploi. Comme on l'a souligné dans la Section 4, l'utilisation des terres en Europe évolue à un rythme de plus en plus rapide et cette tendance devrait se poursuivre, surtout si des modifications climatiques surviennent.

Pour bien planifier et gérer l'utilisation des terres en vue de leur développement à long terme, il importe de connaître (Manning, 1988):

- L'offre de terres définies comme des ressources biophysiques d'après les conditions climatiques et pédologiques.
- La demande future de terres aux fins des activités humaines, décrites en fonction des conditions socio-économiques et géopolitiques ainsi que des tendances démographiques.

La caractérisation des éléments de l'offre et de la demande nous révèle que l'utilisation des terres procède de l'interaction entre le développement économique et les modifications environnementales. On peut définir une politique d'utilisation durable des terres à long terme et à grande échelle en Europe comme étant "le meilleur produit possible à long terme de l'interaction entre l'offre... et la demande..." (Manning, 1988).

Comme il a été signalé dans l'atelier de l'IIASA tenu à Varsovie sur les modifications de l'utilisation des terres en Europe (septembre 1988), il est urgent d'élaborer des scénarios de l'utilisation des terres en Europe pour les prochaines décennies afin de faire face aux modifications de l'activité humaine et à leurs conséquences; ces scénarios aideraient à: (i) répartir les terres entre les divers secteurs (agriculture, forêts, secteur urbain), (ii) gérer les terres (p. ex., pour prévenir les effets négatifs d'une mauvaise utilisation des terres) et (iii) aborder les problèmes des facteurs externes. De tels scénarios devront reposer sur une compréhension des activités humaines et du développement socio-économique

dans le contexte des régimes d'utilisation des terres. Le travail devra comprendre les étapes suivantes:

- (1) Elaborer des scénarios d'utilisation des terres pour l'Europe anticipant les modifications de l'activité humaine. Parmi les changements plausibles à attendre dans les régimes d'utilisation des terres en Europe, notons:
 - (a) *Des modifications écologiques* telles que des changements climatiques influant sur la capacité des terres de produire des aliments, de la cellulose et du bois. Les régimes d'utilisation des terres changent également à cause des nouvelles pratiques agricoles qui visent à empêcher les effets dévastateurs du lessivage des éléments nutritifs dans le sol et les nappes phréatiques.
 - (b) *Des modifications géopolitiques*, par exemple dans quelle mesure les régimes d'utilisation des terres en Europe pourraient changer à la suite d'un accroissement de la demande de produits agricoles sur d'autres continents combiné à une baisse du potentiel de leurs terres.
 - (c) *Des modifications technologiques* qui pourraient diminuer les exigences au niveau des terres, de l'eau et de l'énergie.
 - (d) *Des modifications de politiques* (tant nationales qu'internationales), par exemple le niveau de soutien accordé aux produits agricoles. L'ampleur des subventions versées aux agriculteurs déterminera dans une large mesure l'utilisation future des terres.
- (2) Évaluer les conséquences de ces modifications sur le développement régional (pour ce qui touche la répartition, la gestion et les facteurs externes). Il y aurait lieu d'effectuer une série d'études régionales en parallèle à cette évaluation. Le choix des régions pourrait se faire en fonction de leur niveau de développement socio-économique (par exemple le produit domestique brut par unité de région ou par habitant), des tendances démographiques (répartition entre la population rurale et urbaine) ou des composants écologiques (comme les terres ou les réserves d'eau disponibles par habitant).
- (3) Répartir les terres et procéder par la suite à une gestion de leur utilisation future dans les régions en tenant compte des facteurs externes importants (d'ordre environnemental, économique et politique). À cette fin, il faudra isoler des stratégies viables qui favorisent le concept de stabilité écologique.

9.1.2. Métabolisme industriel: études des bassins fluviaux et prévision de l'utilisation des matières premières

L'utilisation de la matière et de l'énergie dans notre système économique – c'est-à-dire cette partie de l'ensemble des activités humaines qui touchent la production et la consommation de biens et de services matériels qui en découlent – est, à certains égards, semblable à l'utilisation de la matière et de l'énergie par les écosystèmes et les organismes biologiques. L'expression "métabolisme industriel" a été créée par Ayres (Ayres, 1978; Ayres et Kneese, 1989) pour évoquer cette analogie.

De nombreuses études ont eu lieu sur le cycle global des matières actives dans l'environnement et sur la façon dont les activités humaines bouleversent ces cycles. Toutefois, ces études s'attachent largement aux répercussions écologiques des bouleversements en question, mais gardent un silence presque complet sur la façon dont ces matières circulent dans l'économie industrielle pour aboutir dans l'environnement. Par conséquent, ces études (et d'autres qui existent) ne donnent aucune idée des sources précises de pollution ni de la manière dont ces matières seront ou pourraient être utilisées à l'avenir.

Bien qu'on puisse mesurer directement la pollution provenant de sources ponctuelles comme les usines industrielles et les centrales hydro-électriques, il est presque impossible de mesurer avec exactitude les sources de pollution provenant de l'utilisation, par le secteur commercial et les consommateurs, de biens renfermant des produits chimiques nocifs. Les renseignements détaillés que nous pouvons tirer des statistiques économiques sur l'utilisation finale des produits dans l'environnement par les consommateurs jouent un rôle important, car ils représentent peut-être la seule méthode dont nous disposons pour évaluer la pollution qu'entraîne l'utilisation d'une multitude de produits. À l'heure actuelle, nous avons très peu de connaissances sur la contribution de ces sources non ponctuelles au phénomène global de la pollution. Cependant, à mesure que la réglementation augmente à l'égard des industries en Europe, on constate que les sources non ponctuelles de pollution pourraient intervenir pour une partie de plus en plus importante de la charge polluante dans le milieu. Si cette affirmation se révèle juste, elle aura des répercussions énormes sur les politiques publiques. Cela signifie que les programmes de surveillance et de lutte contre la pollution devront porter non seulement sur les émissions de source ponctuelle, mais également sur celles qui découlent de l'activité des consommateurs. Le phénomène ne nous est pas totalement inconnu. L'opinion publique a sans doute grandement aidé à réduire les émissions de phosphate dans les détergents et à mettre en place l'interdiction partielle imposée sur la production d'hydrocarbures chlorofluorés (HCF). Toutefois, ce ne sont que deux cas. Le contrôle efficace des autres produits chimiques délétères exigera que le public devienne de plus en plus conscient de la pollution causée par l'utilisation des biens et produits dans le secteur commercial et domestique. Une telle sensibilisation pourrait même favoriser l'élaboration de produits "appropriés à l'environnement" en remplacement des produits chimiques courants qui eux sont actuellement nuisibles.

À cet égard, les études des bassins fluviaux peuvent servir énormément à observer l'effet cumulé des matières polluantes sur de grandes régions, provenant de l'utilisation finale des produits. En effet, les matières polluantes générées par diverses activités à l'intérieur d'un bassin peuvent s'introduire dans un fleuve soit par déversement direct, soit par écoulement des régions urbaines, agricoles et rurales. D'une certaine façon, la qualité de l'eau d'un cours d'eau par rapport aux déversements de matières toxiques est donc un indicateur de l'ensemble des polluants produits à l'intérieur du bassin. Si l'on peut isoler les activités polluantes et quantifier les émissions, il peut être possible de tirer des conclusions sur l'importance relative des diverses activités comme sources polluantes. Plusieurs études effectuées dans le bassin fluvial Hudson-Raritan aux États-Unis présentent sans doute les meilleures données actuellement disponibles, sur une

échelle spatiale et temporelle étendue, des sources polluantes du fleuve. La région observée avait une superficie d'environ 37 000 km². C'est un important secteur industriel et commercial qui s'étend du port de New York vers le nord sur une distance d'environ 200 kilomètres. Ayres *et al.* (1985) ont étudié la pollution dans la région par huit métaux lourds et plusieurs autres matières entre 1880 et 1980. Les résultats indiquent clairement qu'il y a eu évolution au cours des ans des principales accumulations de métaux lourds. Dans les décennies antérieures, les activités industrielles constituaient en grande partie les principales sources polluantes, mais dès 1980, la pollution par les consommateurs et l'écoulement de ces matières polluantes dans les régions urbaines et agricoles intervenaient pour la plus grande partie des métaux en question. Dans une autre étude du même bassin, Rohmann et Lilienthal (1987) sont arrivés à une conclusion identique. L'écoulement des principales matières polluantes était, dans certains cas, beaucoup plus important que les émissions directes des sources ponctuelles. Il est intéressant de souligner que l'Agence pour la protection de l'environnement aux États-Unis ne réglemente actuellement aucune source polluante provenant d'écoulements ou de transferts.

On ne sait pas si les résultats pour ce bassin fluvial sont représentatifs de la situation en Amérique du Nord ou en Europe et c'est pourquoi des études du même genre devraient être entreprises à l'égard des bassins fluviaux d'Europe. Il faudrait également mieux comprendre le "métabolisme" changeant de la société industrielle. L'objectif central est de comprendre et de documenter la façon dont les procédés de production industrielle transforment la matière première en des biens qui doivent être absorbés et traités dans l'environnement. Les catégories particulières d'activité industrielle comprendraient vraisemblablement les procédés liés aux métaux lourds et aux composés inorganiques comme le brome, le chlore, le soufre, l'azote et les halocarbures. De tels travaux se feraient à partir des recherches existantes (Ayres *et al.*, 1989; Norberg-Bohm *et al.*, 1988; Ayres et Kneese, 1989).

Dès qu'on a établi avec précision la source et le débit des matières toxiques en question, la prochaine étape consiste à construire des modèles pour obtenir une gamme de scénarios plausibles d'utilisation des matières (c.-à-d. quantités, types d'utilisation et de produits, répartition géographique et nombre d'utilisations pouvant varier dans l'avenir). Ces scénarios (de concert avec les scénarios d'utilisation des terres décrits à la Section 9.1.1) viendraient compléter les nombreux scénarios existants à l'égard de la population et de l'utilisation de l'énergie.

9.1.3. Explication des conséquences environnementales d'autres chemins de développement socio-économique

Pour la clarté de notre étude et pour illustrer une méthode de classement de la gravité des répercussions de divers dilemmes, nous avons examiné seulement quatre chemins de développement à la Section 7. Cependant, on pourrait étendre la méthode de manière à examiner les conséquences d'autres chemins de

développement socio-économique, mettant mieux en évidence les spécificités propres aux différentes régions d'Europe (nord/sud – centre – ouest/est).

9.2. Tâches relatives aux évaluations environnementales

9.2.1. Chimie et climat

De nombreuses études ont été effectuées sur les causes et les conséquences des modifications climatiques de même que sur les stratégies permettant d'y faire face. Cependant, il y a encore un aspect important pour lequel beaucoup d'autres analyses s'imposent: il s'agit des conséquences d'une modification climatique sur le débit des matières chimiques délétères dans l'environnement.

Les travaux dans ce domaine pourraient s'appuyer sur les études indiquées à la Section 4, lesquelles portaient sur les conséquences écologiques non linéaires et à retardement provenant de la saturation ou de la diminution de la capacité des sols et des sédiments d'absorber les matières toxiques (Stigliani, 1988). Si l'on suppose que le débit des matières chimiques dans l'environnement est plus ou moins en correspondance avec le climat actuel, comment ces débits fluctueraient-ils sous un régime climatique différent? Une élévation des températures pourrait accélérer largement les réactions biologiques. Une hausse ou une baisse des réserves d'eau fera varier le débit et la sédimentation des matières nocives. La profondeur des nappes phréatiques changera de même que la qualité de l'eau souterraine. L'élévation du niveau de la mer mélangera les sédiments côtiers qui sont actuellement chargés de matières chimiques toxiques.

Voici quelques-uns des sujets qui auraient avantage à être étudiés:

- (1) *Dépôt acides*: Comment de nouvelles conditions climatiques modifieraient-elles le mécanisme actuel des dépôts acides?
- (2) *Sols agricoles*: Le réchauffement et l'assèchement des températures en été augmenteraient-ils la salinisation des sols, et quelles seraient les conséquences sur le lessivage des matières toxiques?
- (3) *Marécages*: Quelles seraient les conséquences environnementales découlant d'un assèchement des marécages? Si de nouveaux marécages étaient formés à la suite d'une élévation du niveau de la mer, quelles seraient les conséquences pour l'environnement?
- (4) *Eutrophisation des eaux douces*: Comment un réchauffement du climat influencerait-il sur le taux d'eutrophisation?
- (5) *Sédiments pollués des estuaires*: Les matières toxiques contenues dans ces sédiments seraient-elles mobilisées à la suite d'une élévation du niveau de la mer?

9.2.2. Discontinuités dans l'environnement

Depuis les quelque 100 dernières années, on a observé plusieurs discontinuités dans l'environnement en Europe. Quelles ont été les circonstances à la base de

ces événements? Et quelles leçons générales pourrait-on tirer qui nous aideraient à faire face aux accidents qui surviendront inévitablement dans les 50 prochaines années?

Voici quelques exemples de discontinuité:

- Diminution du pH des fleuves de Suède dans les années 1950, événement rendu public pour la première fois au début des années 1960 par Svante Odén.
- Dépérissement des forêts d'Europe dans les années 1980.
- L'épisode de smog de Londres de 1952.

Associée à ce phénomène est la question des limites extérieures ou limites de stabilité (Gorshkov, 1988) au-delà desquelles un système s'effondre. Il est peut-être trop optimiste de croire qu'on pourra attaquer de plein front le problème des limites extérieures, mais le jeu en vaut la chandelle. Cette étude vise donc essentiellement à préparer un examen historique comparé des discontinuités ou ruptures qui sont intervenues dans l'environnement européen.

9.3. Tâches concernant l'élaboration de politiques

9.3.1. Systèmes de comptabilisation des ressources

La *comptabilisation des ressources* (CA) est une expression servant à illustrer un système de collecte et de consultation de données sur les stocks et les flux des ressources naturelles. Il y a à l'heure actuelle un vaste courant de pensée voulant que les systèmes courants des comptes nationaux soient incomplets puisqu'ils devraient également tenir compte des ressources naturelles. Par exemple, un pays qui a un important excédent commercial pourrait ne pas être dans une position très saine si l'excédent se fait aux dépens de certaines utilisations nuisibles de ses ressources naturelles, comme l'exploitation minière des forêts.

La création d'un système de CR semble à première vue assez facile. Il y a cependant des difficultés qui se posent:

- (1) Les données statistiques sont recueillies par pays, province ou comté dont les limites correspondent rarement à celles des systèmes écologiques.
- (2) Dans l'estimation des *stocks*, l'accessibilité est une considération importante. Ainsi, l'Europe importe du bois en partie parce qu'elle ne peut avoir accès à de nombreux peuplements. La qualité des stocks est également importante bien que difficile à quantifier dans certains cas.
- (3) Pour être utile, un CR doit reposer sur un modèle conceptuel du système de ressources. Comme on ne s'est pas encore entendu sur un cadre général, les bases de données sur les ressources naturelles sont fragmentées, incohérentes et pleines de lacunes (Friend, 1988). Un de ces modèles est la *comptabilité en volume* qui permet de quantifier les données dans les mêmes unités physiques et ainsi de produire des estimations des flux et des stocks de matières et de l'énergie. Ce modèle est utilisé en Norvège (Lone, 1987)

mais d'autres possibilités existent, notamment le cadre agression-réaction mis au point au Canada (Statistique Canada, 1978) ou celui des comptes de patrimoine élaborés en France.

- (4) Pendant la transformation d'un stock en un flux ou débit, une partie de la matière première peut revenir dans le stock ou alors causer des dégâts dans l'environnement. Comment devrions-nous tenir compte de ces résidus?
- (5) À quel stade de la collecte et de la chaîne de fabrication devra-t-on procéder à la comptabilisation des ressources? Devrions-nous compter des arbres, des billes ou des planches?
- (6) La conception d'un système de CR dépend de l'utilisation qu'on en fera. Dans le cas de l'eau, par exemple, il faut savoir si l'eau sera utilisée comme boisson, dans une activité de loisir, pour la pêche, comme réfrigérant industriel, pour l'irrigation ou pour la production hydro-électrique.

En principe, un système de CR aurait de nombreuses applications pratiques au niveau de la politique (IES, 1983):

- Planifier l'utilisation à long terme des ressources et, implicitement, la protection de l'environnement et les mesures de redressement.
- Appuyer le processus d'évaluation des répercussions écologiques en ce qui touche l'énergie, les ressources et les autres projets de développement.
- Établir et surveiller une réglementation des activités humaines justifiée par des buts écologiques.
- Surveiller les mesures d'économie de ressources.
- Aider à la préservation des espèces vivantes et de leur habitat.
- Favoriser l'éducation et faciliter les débats publics.

Un système de CR s'impose de toute urgence si l'on veut disposer d'une base rationnelle pour approfondir les grands dilemmes politiques auxquels l'Europe fait face. Des systèmes nationaux existent déjà dans plusieurs pays, et des éléments d'un système CR européen ont été réunis à l'IIASA (p. ex., une banque de données sur les réserves de bois des forêts de toute l'Europe) et ailleurs. Les tâches à entreprendre sont les suivantes:

- (1) La préparation d'une revue, à la lumière des connaissances actuelles, de la littérature publiée sur les systèmes CR.
- (2) L'organisation d'un atelier d'examen et la publication de ses résultats.
- (3) Dans le cadre d'essais d'élaboration de politiques, l'établissement des besoins précis des systèmes CR.
- (4) L'établissement d'un cadre d'élaboration d'un système paneuropéen approprié.

9.3.2. Essais d'élaboration de politiques

- (a) Les essais d'élaboration de politiques devraient être menés à l'échelle nationale et même porter sur deux ou trois pays qui se partagent le même

accident géographique, p. ex., un bassin fluvial, les Alpes, l'Adriatique, la Baltique, etc.

- (b) On devrait, en suivant les paramètres décrits à la Section 5, entreprendre un semblable essai dans l'Europe de l'Est, afin de vérifier, dans ce contexte, la validité des idées émises à propos de la stabilité de l'environnement.
- (c) Enfin, il reste à vérifier la plus importante application des essais d'élaboration de politiques, à savoir: seront-ils utiles à établir un ordre du jour de longue haleine pour l'ensemble de l'Europe. Tout en se rappelant que la meilleure solution pour une région, un secteur ou un élément pourrait parfois conduire à un cul-de-sac dans d'autres parties du "système" européen, il est de première importance que les essais conduisent à une étude intégrée des grands dilemmes de l'environnement et du développement auxquels l'Europe fait face. Le *Tableau 7.5* peut fournir un cadre à ces essais d'élaboration de politiques.

9.3.3. Systèmes de préalerte

Bon nombre des systèmes déjà en place en Europe ne donnent pas une indication suffisamment avancée d'une modification écologique, même s'ils fournissent des résultats satisfaisants à d'autres fins. Il est donc recommandé que:

- (1) Les systèmes actuels de surveillance soient étendus pour inclure des indicateurs socio-économiques.
- (2) La sélection des indicateurs repose sur des modèles bien formulés des conséquences d'agressions socio-économiques sur l'environnement, et notamment sur les écosystèmes considérés comme les plus importants.
- (3) Le système soit harmonisé dans toute l'Europe et puisse fournir des résolutions temporelles et spatiales qui répondent aux besoins des modèles et des utilisateurs de ces modèles.
- (4) Le système de données soit facilement accessible et peu coûteux à l'utilisation, bien qu'il ne soit pas nécessaire de recueillir les divers genres de données et d'en faire contrôler la qualité par un organisme.

Il importe d'élaborer et de vérifier les propositions faites à la Section 6 au sujet des indicateurs socio-économiques des modifications environnementales. Parallèlement, il y aurait lieu de consulter les utilisateurs potentiels de ces indicateurs, particulièrement la CEE, la CE, le CAEM, l'OCDE, l'OMS et le PNUE.

9.3.4. Outils pouvant servir à mettre en oeuvre une politique publique

L'objectif d'une politique publique est de modifier les attitudes et les actions individuelles et collectives d'une société. Deux des outils classiques utilisés dans ce domaine sont la *réglementation* et la *prohibition*. Il y a cependant beaucoup d'autres instruments qui peuvent amener une société à penser et à réagir autrement à long terme, comme l'indiquaient Regier et Grima (1984) et Clark

(1987b). Ainsi, on sait que la construction d'une centrale thermique, d'une route ou d'un chemin de fer modifient à long terme l'équilibre des régions. Les changements potentiels au niveau de l'environnement devraient être évalués et pris en compte dans les décisions de politique prises au sujet de ces projets. Il y a deux importantes considérations à cet égard: (1) l'intervalle entre l'adoption d'une politique et l'accomplissement du résultat souhaité; et (2) l'identification du changement.

Clark (1987b) a établi des catégories d'instruments qu'on pourrait utiliser dans la formulation de politiques d'intérêt général touchant la disponibilité et l'utilisation des terres et de l'eau. Ce sont:

- Modifier la croissance et la répartition géographique des populations humaines.
- Modifier les préférences et les exigences de la société.
- Changer les diverses utilisations des ressources naturelles.
- Procéder à des interventions modifiant l'organisation institutionnelle du marché et hors marché.
- Changer les structures et modes de fonctionnement des institutions internationales.

Ces mécanismes ont été utilisés avec succès pour résoudre des questions écologiques à court terme. On doit cependant en examiner l'utilité pour les problèmes à long terme et à grande échelle qui sont caractérisés par l'incertitude. Dans une première étape, il y aurait lieu de commander quelques documents de base sur divers aspects de ce sujet puis de convoquer une réunion d'évaluation. De cette réunion déboucheraient une série de recommandations et notamment une liste des recherches à entreprendre.

9.3.5. Application à d'autres régions du monde

Les méthodes mises au point dans le cadre de l'étude "L'avenir environnemental de l'Europe" devraient être appliqués dans d'autres régions du monde. Plus particulièrement, il y aurait lieu d'effectuer des études dans les pays en développement d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine. En outre, il conviendrait d'entreprendre une étude de l'Amérique du Nord, sans doute sous le patronage des membres nationaux de l'IIASA pour les États-Unis et le Canada.

En résumé, le présent document doit donc être considéré comme le premier pas vers une collaboration active entre scientifiques et responsables de l'environnement pour examiner ensemble les voies d'un développement soutenable non seulement pour l'Europe mais pour toutes les régions du monde confrontées aux mêmes problèmes globaux.

Bibliographie

- Alcamo, J., M. Amann, J.-P. Hettelingh, M. Holmberg, L. Hordijk, J. Kämäri, L. Kauppi, P. Kauppi, G. Kornai et A. Mäkelä (1987) Acidification in Europe: a simulation model for evaluating control strategies. *Ambio* 16: 232-245.
- Andreae, B. (1981) *Farming, Development and Space*, Gruyter, Berlin.
- Anonyme (1988) Les participants à un colloque signalent que les effets d'une modification climatique sur la faune pourraient varier énormément d'une espèce à l'autre, *Climate Alert* 1: 2-3.
- Antonovsky, M., N. Vinogradova et P. Kolosov (1988) Applications des systèmes de pré-alerte à la gestion de l'environnement. Manuscrit inédit, IIASA.
- Ayres, R.U. (1978) *Resources, Environment and Economics: Applications of the Materials/Energy Balance Principle*, John Wiley and Sons, New York.
- Ayres, R.U. et A.V. Kneese (1989) Environmental implications of thermodynamic principles, in Proc. Int. Conf. on Envir. and Dev., Milan, Italie (sous presse).
- Ayres, R.U. et S.R. Rod (1986) Patterns of pollution in the Hudson-Raritan basin, *Environment* 28: 14-20, 39-43.
- Ayres, R.U., L.W. Ayres, J. McCurley, M. Small, J.A. Tarr et R.C. Ridgery (1985) *An historical reconstruction of major pollutant levels in the Hudson-Raritan Basin 1880-1980* (Variflex Corporation, Pittsburgh, Pa; préparé aux termes de la subvention NA 83AA-D00059, Ocean Assessments Division, NOAA).
- Ayres, R.U., V. Norberg-Bohm, J. Prince, W.M. Stigliani, et J. Yanowitz (1989) Industrial metabolism, the environment, and application of materials-balance principles for selected chemicals. Rapport de recherche de l'IIASA (en révision) (Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau, Laxenburg, Autriche).
- Bal, A. et J.C. van Lenteren (1987) Integrated pest management in the Netherlands: practice, policy and opportunities for the future, *Med. Fac. Landbouw, Rijks Univ. Gent*. Vol. 52 (2a), pp. 385-393.
- Beck, P.W. (1983) Forecasts: opiates for decision makers. Third International Symposium on Forecasting. Philadelphia, 5-8 juin, 1983.
- Behrendt, H. (1988) Changes in non-point nutrient loading into European freshwaters: trends and consequences since 1950 and not-impossible changes until 2080. WP-88-26 (Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau, Laxenburg, Autriche)
- Breeuwsma, A. et O.F. Schoumans (1987) Forecasting phosphate leaching from soils on a regional scale, in *Vulnerability of Soils and Groundwater to Pollutants*, Int. Conference, Noordwijk aan Zee, Pays-Bas, 30 mars-3 avril 1987, Inst. nat. d'hygiène et de protection de l'environnement, La Haye, pp. 973-982.
- Brewer, G.D. (1986) Methods for synthesis: policy exercises, in *Sustainable Development of the Biosphere* (éd. W.C. Clark et R.E. Munn) Cambridge Un. Press, Cambridge, R.-U., pp. 455-473.
- Brink, N. (1988) Research and monitoring on environmental hazards in agriculture. Proceedings of a Workshop on "Land Use Changes in Europe", 5-9 septembre, Warsaw, Pologne.
- Broecker, W.S. (1987) Unpleasant surprises in the greenhouse? *Nature* 328: 123-124.
- Brouwer, F.M. et M.J. Chadwick (1988) Future land use patterns in Europe. WP-88-40 (Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau, Laxenburg, Autriche).

- Brouwer, F.M. et M. Falkenmark (1988) Climate induced water availability changes in Europe (Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau, Laxenburg, Autriche) (miméographié).
- Brühl, C. et P.J. Crutzen (1988) Scenarios of possible changes in atmosphere temperatures and ozone concentrations due to man's activities, estimated with a one-dimensional coupled photochemical climate model. *Climate Dynamics* 2: 173-203.
- Bultot, F., G.L. Dupriez et D. Gellens (1988) Estimated annual regime of energy-balance components, evapotranspiration and soil moisture for a drainage basin in the case of a CO₂ doubling. *Climatic Change* 12: 39-56.
- CEE (1986) Stratégie régionale pour la protection de l'environnement et l'utilisation rationnelle des ressources naturelles dans les pays membres de la CEE pendant la période allant jusqu'en l'an 2000 et au-delà, NU, CEE, Genève, 133 pp.
- CEE (1987) Perspective économique régionale jusqu'en l'an 2000: note du secrétariat, EC. AD./R. 33, NU, CEE, Genève, 45 pp.
- CEE (1988b) Perspective économique régionale jusqu'en l'an 2000, NU, CEE, Genève, 224 pp.
- CEE-FAO (1986) Tendances et perspectives du bois en Europe jusqu'à l'an 2000 et au-delà. 2 volumes. Commission économique pour l'Europe et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, NU, New York.
- Clark, W.C. (1987a) Les concepts présentés dans ce paragraphe et dans ceux qui suivent ont été relevés pour la première fois dans une description du projet de développement de la biosphère axé sur l'environnement de l'IIASA. Document interne (Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau, Laxenburg, Autriche).
- Clark, W.C. (rapporteur) (1987b) Resources and World Development (éd. D.J. McLaren et B.J. Skinner) John Wiley and Sons Ltd., Chichester, R.-U., pp. 890-911.
- CMED (1987) Notre avenir à tous, Montréal, Edition du Fleuve (aussi connu comme le Rapport de la Commission Brundtland).
- Colombo, U. (1985) The shape of technological change and its influence on world socioeconomic balance. *The EEC/China Symposium on the Revolution of New Technologies*. Beijing, République populaire de Chine, 4-10 octobre 1985.
- CONCAWE (1987) La protection de l'environnement dans les années 1990: Exposés des principaux conférenciers, Rep. No 9/87, CONCAWE, Pays-Bas, 60 pp.
- Darmstadter, J., L.W. Ayres, R.U. Ayres, W.C. Clark, P. Crosson, P.J. Crutzen, T.E. Graedel, R. McGill, J.F. Richards et J.A. Tarr (1987) Impacts of World Development on Selected Characteristics of the Atmosphere: an Integrated Approach. Oak Ridge National Laboratory, ORNL/Sub/86-22033/1/V2, Oak Ridge, Tennessee, Vol. 1, pp. 129-145.
- De Groot, R.S. (1988) Assessment of potential shifts in Europe's natural vegetation due to climatic change and some implications for nature conservation. WP-88-105. (Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau, Laxenburg, Autriche).
- De Ploey, J. (1988) Soil erosion and perspectives for erosion control in Western Europe. Proceedings of a Workshop on "Land Use Change in Europe," 5-9 septembre, Warsaw, Pologne.
- De Wit, C.T., H. Huisman et R. Rabbinge (1987) Agriculture and the environment: are there other ways? *Agricultural Systems* 23: 211-236.
- ECE (1988a) Natural strategies for protection of flora, fauna and their habitats, ECE, Genève, 43 pp.

- EPA (1987) Unfinished business: a comparative assessment of environmental problems, Office of Policy Analysis, US EPA, Washington, DC, 100 pp.
- Feister, U. et W. Warmbt (1987) Long-term measurements of surface ozone in the German Democratic Republic. *J. Atm. Chem.* 5: 1-21.
- Forkasiewicz, J. et J. Margat (1980) Tableau mondial de données nationales d'économie de l'eau: ressources et utilisations, Département d'hydrogéologie, 79 SGN 784 HYD, Orléans.
- Friend, T. (1988) Land-use statistics in natural resource accounting systems. Proc. of a Workshop on "Land-Use Changes in Europe", 5-9 septembre, Warsaw, Pologne.
- Gorshkov, V.G. (1988) Biosphere and the environment: stability limits, Leningrad, Nuclear Physics Inst., USSR Acad. Sci., 66 pp.
- Häfele, W., H. Barnert, S. Messner, M. Strubegger, with J. Anderer (1986) Novel integrated energy systems: the case of zero emissions, in *Sustainable Development of the Biosphere* (eds. W.C. Clark and R.E. Munn) Cambridge Un. Press, Cambridge, UK, pp. 171-193.
- Haines, R.C. et F.E. Joyce (1987) Land recycling and renewal a prospective analysis of industrial land contamination and remedial treatment. Commission of the European Communities: FAST Occasional Papers No. 192.
- Hekstra, G.P. (1988) Climatic change and land use impact in Europe. Proceedings of a Workshop on "Land Use Changes in Europe", 5-9 septembre 1988, Warsaw.
- Henderson-Sellers, A. (1986) Cloud changes in a warmer Europe, *Climatic Change* 8: 25-52.
- Hollod, G.J. et R.F. McCartney (1988) Waste reduction in the chemical industry, *J. Air Poll. Cont. Ass.* 38: 174-179.
- Huffman, T. (1987) Methods of assessing agricultural sustainability, in Proc. Workshop on Ecological Indicators of the State of the Environment, Inst. for Envir. Studies, University of Toronto, Canada, pp. 45-48.
- Hutton, M. (1982) Cadmium in the European Community: a prospective assessment of sources, human exposure and environmental impact. MARC Report No. 26, préparé pour la Commission des communautés européennes, Contrat No 333-ENV R.-U., 100 pp.
- IES (1983) Towards an integrated framework for resource accounting in Canada, Contract Report Phase I, Inst. Env. Studies, University of Toronto, 40 pp.
- Imeson, A. (1988) The potential impact of climatic change on soil erosion. Proceedings of a Workshop on "Land Use Changes in Europe," 5-9 septembre, Warsaw, Pologne.
- Jäger, J. (éd.) (1988) Developing policies for responding to climatic change, WCIP-1, WMO/TD-225, OMS Genève et PNUE, Nairobi, 53 pp.
- Jansson, A.M. (1988) Ecological and economic models of the island of Gotland and the Baltic sea basin, in Proc. of a Conf. on Env. and Nat. Res. Manag. in the Baltic region, Gdansk, Pologne (sous presse).
- Joly, A. et M. Bandelier (1988) The impact of new technologies on the environment. WP-88-43 (Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau, Laxenburg, Autriche).
- Kaczmarek, Z. et J. Kindler (1988) Impacts of CO₂ - induced climatic change on water resources in the central European lowlands, in Proceedings of an European Workshop on International Bioclimatic and Land Use Changes, RIVM, Bilthoven, Pays-Bas. 20 pp (sous presse).
- Kettunen, L., J. Mukula, V. Pohjonen, O. Rantanen, and U. Varjo (1988) The Effects of Climatic Variations on Agriculture in Finland, in *The Impacts of Climatic*

- Variations on Agriculture, Vol. 1: Assessments in Cool Temperate and Cold Regions* (eds. M.L. Parry, T.R. Carter, and N.T. Konijn) Kluwer Academic Publishers (IIASA/UNEP), Dordrecht, The Netherlands, pp. 511-614.
- Kindler, J. (1988) The problem of water resources management as a possible barrier to social and economic growth: the case of Poland, in Proc. of Int. Workshop on Water Awareness in Societal Planning and Decision-Making, Stockholm (sous presse).
- Kornai, G. (1988) Future market consequences of forest decline in Europe. WP-88-41 (Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau, Laxenburg, Autriche).
- Kreysa, J. (1987) Forestry beyond the year 2000, Fast Programme II, CEC, Bruxelles, 45 pp.
- Kuusisto, E. (1988) The ice conditions of the Finish lakes in the year 2050. Preprint, 7th NRB Symposium/Workshop, Ilulissat, Groenland, mai 1988, 8 pp.
- Lavoux, T. (1987) Risques et avantages des biotechnologies appliquées à l'agriculture. IPEE, Groupe de Prospective, Min. Env., Paris, 1987.
- Lee, J. (1988) Land resources, land-use and projected land availability for alternative uses in the EC. Proceedings of a Workshop on "Land Use Changes in Europe", 5-9 septembre, Warsaw, Pologne.
- Lewis, C. (1986) The role of biotechnology in assessing future land use within Western Europe, Report FOP 87, Commission des communautés européennes, Bruxelles, 125 pp.
- Lone, O. (1987) Natural resource accounting and budgeting: a short history of and some critical reflections on the Norwegian experience 1975-1987, OCDE, Dir. de l'Env., Paris, France. 39 pp.
- Lough, J.M., T.M.L. Wigley et J.P. Palutikof (1983) Climate and climate impact scenarios for Europe in a warmer world. *J. Climate Appl. Meteorol.* 22: 1673-1684.
- Manabe, S. et R.T. Wetherald (1987) Large-scale changes of soil wetness induced by an increase in atmospheric carbon dioxide. *J. Atm. Sci.* 44: 1211-1235.
- Manning, E.W. (1988) The analysis of land use determinants in support of sustainable development, CP-88-01 (Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau, Laxenburg, Autriche).
- Messner, S. et M. Strubegger (1986) First-order effects of a nuclear moratorium in central Europe. WP-86-80 (Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau, Laxenburg, Autriche).
- Ministère Suédois des transports (1987) Répartition modale des exportations suédoises entre différents types de transport.
- Mitchell, J.F.B. (1983) The seasonal response of a general circulation model to changes in CO₂ and sea temperature. *Quart. J. Royal Meteorol. Soc.* 109: 113-152.
- Munn, R.E. (1988) Towards sustainable development: an environmental perspective, Proc. Int. Conf. on Environment and Development, Milan, Italie (sous presse).
- Nakicenovic, N. et S. Messner (1982) Solar energy futures in a western European context. WP-82-126 (Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau, Laxenburg, Autriche).
- Nations Unies (1986) Les perspectives d'avenir de la population mondiale : Estimations et projections établies en 1984. New York: Division de la population des Nations Unies.
- Nijkamp, P. et F. Soeteman (1988) Dynamics in land use patterns: socio-economic and environmental aspects of the second agricultural land use revolution. CP-88-2

- (Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau, Laxenburg, Autriche).
- Nilsson, S. (1988) Factors affecting future investments in pulp capacity. Tirage préliminaire en vue du colloque "Tomorrow - a New Yesterday," Nice, France, avril 1988, 30 pp.
- Nilsson, S. et P. Duinker (1987) The extent of forest decline in Europe, *Environment* 29: 4-9 et 30-31.
- Norberg-Bohm, V., J. Yanowitz, et J. Prince (1988) Materials balance for bromine, chlorine, sulphur and nitrogen in Europe. WP-88-73 (Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau, Laxenburg, Autriche).
- OECD (1979) Facing the Future, OCDE, Paris, France, 425 pp.
- Olejnik, J. (1988) Present and future estimates of evapotranspiration and runoff for Europe. WP-88-37 (Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau, Laxenburg, Autriche).
- Pinay, G. et H. DeCamps (1988, sous presse) The role of riparian woods in regulating nitrogen fluxes between the alluvial aquifer and surface water: a conceptual model. *Regulated Rivers*.
- Regier, H.A. et H.P. Grima (1984) The nature of Great Lakes ecosystems, Int. Bus. Lawyer, livraison de juin, 261-269.
- RIVM (1988) Statement of findings and recommendations, in Proceedings of an European Workshop on Interrelated Bioclimatic and Land Use Changes, RIVM, Bilthoven, Pays-Bas, 20 pp.
- Rogner, H.H. (1986) Long-term energy projections and novel energy systems, in *The Changing Carbon Cycle - A Global Analysis*, J.R. Trabalka et D.E. Reichle (éd.), Springer Verlag, New York, Berlin, pp. 508-533.
- Rohmann, S.O. et N. Lilienthal (1987) Tracing a river's toxic pollution: a case study of the Hudson, Phase II, Inform Inc., 381 Park Ave. S., New York 10016.
- Schroder, H. (1985) Nitrogen losses from Danish agriculture - trends and consequences, *Agr. Ecosyst. and Env.* 14: 279-289.
- Statistique Canada (1978) Activité humaine et l'environnement, Statistique Canada, Ottawa, Canada, 183 pp.
- Stigliani, W.M. (1988) Changes in valued "capacities" of soils and sediments as indicators of nonlinear and time-delayed environmental effects. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment* 10: 245-307.
- Szabolcs, I. (1988) The salinization potential of European soils. Proceedings of a Workshop on "Land Use Changes in Europe", 5-9 septembre 1988, Warsaw, Pologne.
- Theys, J. (1987) 21st century: environment and resources. *European Env. Rev.* 1: 3-11.
- Tolba, M. (1986) Output per unit of resources is what counts, UNEP News, sept./oct., p. 6.
- Toth, F.L. (1986) Practicing the future: implementing the policy exercise concept, WP-86-23. (Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau, Laxenburg, Autriche).
- Toth, F.L. (1988) Practicing the future Part 2: lessons from the first experiments with policy exercises. WP-88-12 (Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau, Laxenburg, Autriche).
- Turner, R.K. (ed.) (1988) Sustainable Environmental Management, Bellhaven Press, London, UK et Westview Press, Boulder, Co., 292 pp.

- U.S. Office of Technology Assessment (OTA) (1986) *Technology, Public Policy, and the Changing Structure of American Agriculture*, OTA-F-285, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, p. 5.
- Von Weizsäcker, E. (1986) The environmental dimension of biotechnology, in *Industrial Biotechnology in Europe: Issues for Public Policy*, D. Davies (ed.), Frances Printer Publishers, London, pp. 35-45.
- Wack, P. (1985a) Scenarios: uncharted waters ahead. *Harvard Business Review*. sept./oct. 1985.
- Wack, P. (1985b) Scenarios: shooting the rapids. *Harvard Business Review*. Nov./déc. 1985.
- Wandel, S. (1988) Presentation at IASA's Policy Exercise Workshop, 17-18 juin 1988, Baden, Autriche.
- WCED (1987) *Our Common Future*, Oxford University Press, Oxford, UK, 383 pp.
- White, G. (1983) Water resource adequacy: illusion an reality. *National Resource Forum* 1: 11-21.
- WICEM (1984) World Industry Conference on Environmental Management, *Ind. and Env.* 5, 39 pp.
- Wigley, T.M.L. et P.D. Jones (1981) Detecting CO₂-induced climatic change, *Nature* 292: 205-208.
- Wolf, D., B. Wils, W. Lutz et S. Scherbov (1988) Population futures for Europe: an analysis of alternative scenarios. WP-88-46 (Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau, Laxenburg, Autriche).
- Wong, L.F. (1986) *Agricultural Productivity in the Socialist Countries*, special studies on agriculture science and policy, Westview Press, Boulder and London.
- Zavatarelli, M. (1988) Potential impact of the greenhouse effect on the Mediterranean Sea: overview. WP-88-76 (Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau, Laxenburg, Autriche).

Annexe A

Liste des réunions préparatoires à l'étude

Réunions du Comité scientifique:

5-6 juin 1986
8-9 septembre 1986
2-3 décembre 1986

Réunions mixtes du Comité scientifique et du Comité politique en vue des exercices de politiques:

24-25 novembre 1987
17-18 juin 1988 (Baden, Autriche)

Rapport du groupe de travail sur les répercussions des nouvelles technologies sur l'environnement européen:

29 février - 1er mars 1988

Groupe de réflexion sur les indicateurs de pré-alerte des modifications environnementales:

4 août 1988

Atelier sur les modifications de l'utilisation des terres en Europe: procédés de changement, transformations environnementales et tendances futures:

5-9 septembre 1988 (Warsaw, Pologne)

Réunions du Comité de gestion de l'étude:

23 novembre 1987
17 juin 1988 (Baden, Autriche)

Présentation des résultats de l'étude à quatre comités du Parlement hollandais, La Haye:

1er décembre 1988

Présentation des résultats aux responsables des milieux scientifiques et administratifs français

14 mars 1989

Annexe B

Liste des documents de travail l'IIASA et des publications connexes intéressant l'étude

Publications du journal de l'IIASA, ouvrages et documents de travail

- Ayres, R.U., Norberg-Bohm, J. Prince, W.M. Stigliani, et J. Yanowitz (1989 en préparation) Industrial metabolism, the environment, and application of materials-balance principles for selected chemicals. Research Report, IIASA, Laxenburg, Autriche.
- Behrendt, H. (1988) changes in nonpoint nutrient loading into European freshwaters: trends and consequences since 1950 and non-impossible changes until 2080, WP-88-26, IIASA, Laxenburg, Autriche.
- Breiling, M. (1989, en préparation) Socio-economic and environmental aspects of tourism in alpine areas of Austria. IIASA, Laxenburg, Autriche.

- Brouwer, F.M. (1988) Determination of broad-scale land use changes by climate and soils. *Journal of Environmental Management* (sous presse).
- Brouwer, F.M. et M.J. Chadwick (1988) Future land use patterns in Europe, WP-88-40, IIASA, Laxenburg, Autriche.
- Brouwer, F.M. et M.J. Chadwick (eds.) (1989, en préparation) Land use changes in Europe: Processes of change, environmental transformations, and future patterns. Kluwer, Dordrecht, Pays-Bas.
- De Groot, R.S. (1988) Assessment of potential shifts in Europe's natural vegetation due to climatic change and some implications for nature conservation, WP-88-105, IIASA, Laxenburg, Autriche.
- Joly, A. et M. Bandelier (1988) The impact of new technologies on the environment, WP-88-43, IIASA, Laxenburg, Autriche.
- Käärik, A.R. (1989, en préparation) Sustainable development and land use policies. IIASA, Laxenburg, Autriche.
- Manning, E.W. (1988) The analysis of land use determinants in support of sustainable development, CP-88-01, IIASA, Laxenburg, Autriche.
- Nijkamp, P. et F. Soeteman (1988) Dynamics in land use patterns: socioeconomic and environmental aspects of the second agricultural land use revolution, CP-88-02, IIASA, Laxenburg, Autriche.
- Norberg-Bohm, V., J. Yanowitz et J. Prince (1988) Materials balance for bromine, chlorine, sulphur, and nitrogen in Europe, WP-88-73, IIASA, Laxenburg, Autriche.
- Olejnik, J. (1988) Present and future estimates of evapotranspiration and runoff for Europe, WP-88-37, IIASA, Laxenburg, Autriche.
- Schaffer, J. (1989, en préparation) Land use conversions from agriculture to forestry. IIASA, Laxenburg, Autriche.
- Souchu, P. et D. Etchanchu (1989) The environmental effects on the intensive application of nitrogen fertilizers in Western Europe: Past problems and future prospects, WP-88-93, IIASA, Laxenburg, Autriche.
- Stigliani, W. (1988) Changes in valued "capacities" of soils and sediments as indicators of nonlinear and time-delayed environmental effects. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment* 10: 245-307.
- Wolf, D., B. Wils, W. Lutz et S. Scherbov (1988) Population futures for Europe: An analysis of alternative scenarios, WP-88-46, IIASA, Laxenburg, Autriche.
- Zavatarelli, M. (1988) Potential impact of the greenhouse effect on the Mediterranean Sea: Overview, WP-88-76, IIASA, Laxenburg, Autriche.

Publications connexes

- Kornai, G. (1988) Future market consequences of forest decline in Europe. WP-88-41, IIASA, Laxenburg, Autriche.
- Mermet, L. (1987) Game analysis, WP-87-84, IIASA, Laxenburg, Autriche.
- Munn, R.E. (1988) Towards sustainable development: an environmental perspective, tirage préliminaire de l'IIASA en vue de la conférence internationale sur l'environnement et le développement, Milan, Italie, 24-26 mars 1988 (à publier)
- Nilsson, S. (1988) Factors affecting future investments in pulp capacity. WP-88-75, IIASA, Laxenburg, Autriche.
- Toth, F.L. (1988) Practicing the Future. Part 2: Lessons from the First Experience with Policy Exercises, WP-88-12, IIASA, Laxenburg, Autriche.
- Szabolcs, I. (1988) Interim report to IIASA of the salinization potential of European soils.

Annexe C

Quelques-uns des principaux systèmes de surveillance en Europe

Introduction

On compte aujourd'hui en Europe un grand nombre de systèmes différents de surveillance de l'environnement. Nous avons résumé ci-dessous, pour deux systèmes, les grands objectifs, le genre de renseignements écologiques recueillis et les réalisations:

- Le programme CORINE de la CE (système d'information coordonné sur l'état de l'environnement et les ressources naturelles de la Communauté économique européenne) a été mis en place en 1985 et il vise les 12 pays membres de la CE: Belgique, Danemark, France, Allemagne, Grèce, Irlande, Italie, Luxembourg, Pays-Bas, Portugal, Espagne et Royaume-Uni.
- Le programme EMEP (programme concerté de surveillance continue et d'évaluation du transport à longue distance des polluants atmosphériques en Europe) de la CEE.

Le programme CORINE

Le programme a été créé en 1985 afin de:

- (1) Fournir des renseignements sur certains sujets thématiques (notamment les biotopes, les émissions atmosphériques, l'utilisation des terres, la qualité des terres et la qualité de l'eau).
- (2) Appuyer une meilleure organisation des données recueillies au sein de la Communauté européenne, par ses membres ou par des organismes internationaux.

Le système CORINE possède des données sur les phénomènes suivants (données disponibles actuellement ou prévues pour le milieu de 1989):

- (1) La topographie (côtes, schéma hydrographique des lacs, canaux et réservoirs).
- (2) Les frontières politiques (nationale et régionale).
- (3) Le climat (moyennes mensuelles et annuelles sur trente ans en regard de facteurs comme les précipitations, la température, le gel, l'humidité relative, l'évapotranspiration, la vitesse du vent, l'enneigement et le rayonnement solaire).
- (4) Les sols (les renseignements de base sur les sols proviennent de la carte des sols (échelle 1:1 million) des communautés européennes, y compris les types de sol et leur texture).
- (5) Les risques d'érosion des sols et les ressources foncières importantes (régions dans la partie sud de la Communauté européenne qui sont susceptibles d'être touchées fortement par l'érosion à cause des conditions actuelles d'utilisation des terres et des risques d'érosion le long de la côte des pays de la Communauté).
- (6) Les biotopes (conservation des sites naturels devant être préservés; comprend actuellement près de 5 000 endroits et des renseignements sur l'emplacement, la superficie, l'altitude, l'habitat, les activités humaines et les espèces).
- (7) L'eau (réserves provenant des nappes phréatiques et des eaux de surface, consommation).
- (8) La qualité de l'eau (déversement mensuel moyen des cours d'eau pour la période 1970-1985, y compris des facteurs comme la température, le pH, les chlorures, l'azote, l'ammoniac, l'oxygène dissout, le phosphore, le cadmium et le mercure).
- (9) Les émissions atmosphériques (dioxide de soufre, oxyde d'azote, composés organiques volatiles).

- (10) La qualité de l'air (dioxyde de soufre, fumée et particules).
- (11) Les régions agricoles défavorisées (régions montagneuses ou autres régions moins favorisées qui nécessitent une aide financière ou une autre forme de soutien pour préserver leur caractère agricole).
- (12) Les régions désignées (emplacement, région, date d'établissement, désignation et propriété).

Outre les composants écologiques présentés dans le programme CORINE, celui-ci recueille également des renseignements sur les facteurs socio-économiques et démographiques:

- (1) Population (nombre total de résidents, établissements et répartition urbaine-rurale).
- (2) Emploi (agriculture, industrie, services, fabrication, transports et communications).
- (3) Énergie (production, consommation, capacité, exploitation minière et ressources).

Le programme EMEP

Le programme concerté de surveillance continue et d'évaluation du transport à longue distance des polluants atmosphériques en Europe (EMEP) a pour objectif de surveiller les composants atmosphériques pouvant servir à vérifier les modèles du transport des polluants atmosphériques sur longue distance. Les sites sont situés dans des régions affichant les sources ponctuelles les moins fortes possibles, où les mesures sont considérées comme représentatives de la pollution d'une région.

On compte 82 stations de surveillance dans 23 pays et la plupart d'entre elles appartiennent à des réseaux nationaux. Les principales stations ont commencé leurs observations en janvier 1978. L'information recueillie porte sur les gaz, les particules et les précipitations:

Les *gaz* comprennent: SO_2 , NO_2 , HNO_3 et NH_3 .

Les *particules* comprennent: H^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- et NH_4^+ .

Les *précipitations* comprennent: SO_4^{2-} , NH_4^+ , NO_3^- , pH/H^+ , Mg^{2+} , Na^+ , et Cl^- .

Étant donné que l'EMEP utilise les renseignements provenant des réseaux nationaux, chaque élément fait l'objet de méthodes analytiques et chimiques différentes, ce qui complique la comparabilité des résultats.

Annexe D

Abréviations

AELE	Association européenne de libre échange
CAEM	Conseil d'assistance économique mutuelle
CE	Communauté économique européenne
CEE	Commission économique pour l'Europe des Nations Unies
CEE-FAO	Commission économique pour l'Europe des Nations Unies – Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
CIUS	Conseil international des unions scientifiques
CMED	Commission mondiale sur l'environnement et le développement
CMIGE	Conférence mondiale de l'industrie sur la gestion de l'environnement

CONCAWE	Groupe d'étude international des compagnies pétrolières pour la sauvegarde de l'air et de l'eau en Europe
EPA	Environmental Protection Agency (Agence pour la protection de l'environnement)
HCF	Hydrocarbures chlorofluorés
IEE	Institut pour l'étude de l'environnement, Université de Toronto (Canada)
IIASA	Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau, Laxenburg (Autriche)
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OMI	Organisation météorologique internationale
OMS	Organisation mondiale de la santé
PNB	Produit national brut
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
PRB	Produit régional brut
RAINS	Simulation, information et acidification régionales (modèle des dépôts acides, IIASA)
RIVM	Institut national de la santé et de la protection de l'environnement
SCOPE	Comité scientifique chargé des problèmes de l'environnement
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources naturelles
YSSP	Programme estival des jeunes scientifiques (IIASA)