

L'infini dans un monde fini : quelles transitions politique, économique et sociale face à la limitation des ressources aux différentes échelles d'action ?

Etat des lieux des controverses sur les ressources naturelles



Avril 2013

Réalisé avec le soutien du Ministère en charge du développement durable.



L'objectif de cette première partie de l'étude « L'infini dans un monde fini : quelles transitions politique, économique et sociale face à la limitation des ressources aux différentes échelles d'action ? » est de proposer un état des connaissances actuelles au plan des ressources naturelles disponibles et des évolutions prévisibles, afin de définir l'ampleur de la mutation à opérer.

Cette étude s'inscrit dans le cadre du Programme « Transitions de long terme vers une économie écologique », piloté par la Mission Prospective du MEDDE.

Responsable scientifique : Pierre RADANNE, expert en politiques énergétiques face au changement climatique, président de 4D

Equipe projet :

Pierre GRISON, ingénieur, administrateur de 4D

Jacques VARET, géologue, BRGM, vice-président de 4D

Catherine LAPIERRE, économiste, administratrice de 4D

Marie Chéron, chargée de mission 4D, mcheron@association4d.org

Michel MOUSEL, ancien haut fonctionnaire, président fondateur de 4D

Fanny Déléris, chargée de mission 4D, fdeleris@association4d.org

François PERONNET, économiste

Vaia Tuuhia, déléguée générale 4D, vtuuhia@association4d.org

François ROCHERIEUX, économiste

Michel ROUSSELOT, ingénieur, administrateur de 4D

Idtri : Tancrede Voituriez, directeur du programme Gouvernance

Cet état des lieux a été coordonné et rédigé par Fanny Déléris et Marie Chéron. Ont contribué à ce rapport : Marie-Hélène Aubert (ex-Futur Facteur 4), Emeline Diaz (Futur Facteur 4), Pierre Grison, Pierre Radanne, Jean-Luc-Redaud (Ministère de l'agriculture, administrateur de 4D), Jacques Varet et Louis-Marie Voisin (GREP).

Nous adressons nos sincères remerciements aux personnes qui ont participé à ce rapport, par leurs relectures et leurs ajouts : Catherine Aubertin (IRD), Gaël Gonzalez (Orée), Ana Hours (4D), Catherine Lapierre et Vaia Tuuhia.

Association 4D

Dossiers et Débats pour le Développement Durable

150-154 rue du Faubourg Saint-Martin 75010 Paris
Tél. : +33 (0) 1 44 64 74 94 - Fax : +33 (0) 1 44 64 72 76
Site Internet : www.association4d.org



Réalisé avec le soutien du Ministère en charge du développement durable.

Sommaire

Sommaire	3
Préambule	4
Synthèse	7
Synthèse globale de l'état des lieux prospectif	7
Synthèse thématique de l'état de lieux prospectif.....	13
Etat des lieux prospectif	25
Chapitre 1 : La Biodiversité.....	25
Chapitre 2 : Les ressources minérales	68
Chapitre 3 : La problématique énergétique : quelle perspective pour le XXI ^{ème} siècle ?	92
Chapitre 4 : Ressources et milieux naturels	193
Chapitre 5 : L'agriculture et les ressources alimentaires	241
CONCLUSION	262
ANNEXES.....	268
Annexe 1: Les trois conceptions de la nature selon Jacques Theys, juin 1993.....	269
Annexe 2 : Définition du concept de biodiversité	272
Annexe 3 : description des services écosystémiques rendus par la nature.....	274
Annexe 4 : quelques exemples chiffrés des services écosystémiques rendus par la nature	277
Annexe 5 : projet de caractérisation des fonctions écologiques des milieux en France	278
Annexe 6 : les messages essentiels du MEA	279
GLOSSAIRE	281
Liste des acronymes.....	283
BIBLIOGRAPHIE.....	286

Préambule

L'étude « L'infini dans un monde fini : quelles transitions politique, économique et sociale face à la limitation des ressources aux différentes échelles d'action ? » a pour objet de dessiner les chemins de transition vers une économie écologique, en partant de la reconnaissance de l'irréversibilité des atteintes portées à l'environnement ainsi que de la globalité des menaces actuelles qui pèsent sur nos ressources naturelles et milieux physiques du fait des choix technologiques effectués depuis le début de l'ère industrielle. La transition vers une économie écologique implique une mutation économique et sociale profonde, un changement de modèle. En effet la prise en compte des limites de la planète et des technologies disponibles, mais aussi les contraintes du contexte de la mondialisation de l'économie et de la crise économique et financière appellent des changements profonds dans les comportements et les régulations. Aucune approche ne pourrait être féconde et opérationnelle si elle ne reconnaît pas la nécessité de cette mutation dans toutes ses dimensions.

Le concept d'économie écologique, pose pour principe que la durabilité du système ne peut se concevoir qu'une fois la durabilité écologique assurée. Un environnement sain et une économie résiliente mènent à une société garantissant aux citoyens un emploi valorisant et utile, un sentiment de confiance et un niveau de vie matériel satisfaisant. Cependant la gravité des enjeux qui se posent dans ce siècle nécessite pour y répondre des transformations majeures des systèmes qui engagent tous les rouages des sociétés. L'objectif de cette étude est donc d'analyser en profondeur les mutations nécessaires et les processus de transition qui peuvent les permettre. Si les « limites sur les ressources naturelles » ne peuvent être envisagées que d'un point de vue planétaire, la « transition vers une économie écologique » sera étudiée en ciblant le cas de la France dans son environnement européen et international.

Les étapes de l'étude prospective

L'étude prospective « L'infini dans un monde fini : quelles transitions politique, économique et sociale face à la limitation des ressources aux différentes échelles d'action ? » comprend plusieurs étapes de réflexion. Nous sommes partis de la nécessité d'un changement de paradigme et du besoin de dessiner différentes visions. La transition telle que nous l'entendons à 4D : une métamorphose du modèle de développement qui intègre des objectifs sociaux, économiques, environnementaux et culturels, et qui concerne différentes échelles d'action, différents acteurs ainsi que des temporalités diverses. La prospective portera sur la situation de la France tenant compte d'un contexte européen et international.

- [1]. La première étape porte sur l'« **état des lieux prospectif des controverses sur les ressources naturelles** ». Elle doit permettre d'approfondir la question de la limitation des ressources : identifier les grandes tendances et les degrés d'incertitudes sur les limitations et les contraintes sur les ressources. Ce second livrable a donc pour objectif d'analyser les conflits d'interprétation existants sur l'état des ressources naturelles, dans la perspective d'évolutions globales afin de dessiner l'ampleur des changements des modes de production et de consommation à amorcer.
- [2]. La seconde étape consiste en l'élaboration et l'analyse de **visions d'un futur réussi**, à l'horizon 2050. Chacune de ces visions intègre la limitation des ressources et les limites d'absorption de notre environnement et propose : un développement adapté à la finitude des ressources et à la gestion des équilibres environnementaux, et accessible à tous, considérant les mutations

comme des facteurs d'opportunités, une refonte profonde de la gouvernance et de la démocratique, une alternative à la société de consommation.

L'étude retiendra des **objectifs volontaristes** répondant aux enjeux, notamment **le facteur 4** concernant les émissions de gaz à effet de serre, mais aussi **des objectifs d'équité sociale d'épanouissement individuel, et de cadre démocratique**. La vision globale pourra être illustrée par des récits de vie ainsi qu'une description socio-économique globale cohérente.

La prise de conscience de la finitude de la planète et de ses ressources amène à s'interroger sur les contraintes en termes de rareté des ressources et de limites d'absorption de l'environnement. Cinq catégories de ressources sont ainsi distinguées (**biodiversité, ressources minérales, ressources énergétiques, milieux physiques et ressources naturelles, agriculture et les ressources alimentaires**) pour mieux appréhender les limites qui les concernent et les enjeux de leur optimisation. de la gestion de la ressource. Il est cependant évident que ces derniers se recoupent, se croisent, sont complémentaires et non exclusifs.

Une approche intégrée et systémique des ressources naturelles

Après plusieurs décennies d'usage, le terme « environnement » recouvre trois grandes conceptions¹, irréductibles les unes aux autres :

- ✓ **Objective et biocentrique** : *l'environnement peut se définir par une liste d'"objets" naturels* (organismes vivants, ressources minérales, milieux de vie écosystèmes, voire biosphère...) en interaction. La société, n'est alors elle-même qu'un objet particulier de cette liste. L'environnement est considéré comme une contrainte à laquelle la société doit s'adapter.
- ✓ **Subjective et anthropocentrique** : *l'environnement est considéré comme un système de relations sujet/objet avec l'homme. Cette conception est caractéristique de la société industrielle*. On ne prend en considération l'environnement que dans la mesure où il est en relation avec la société, et s'apparente à un ensemble de relations entre les hommes et les milieux où ils vivent (usages, prélèvements, aménagement, accès, rejets...). L'environnement ne se définit que dans un système de sens, un système social, une culture qui le symbolisent différemment et permettent, par exemple, de définir ce qu'est la « qualité de la vie ».
- ✓ **Technocentrique** : à l'inverse des deux premières, elle prend en considération le fait qu'*une distinction nette entre société et environnement n'est pas adaptée à la complexité de la réalité*. Cette dernière conception, à la fois objective et subjective, se base sur la **notion de dépendance réciproque** de la société et de l'environnement. L'environnement est alors à la fois dans et autour de la société. L'environnement naturel pris comme intangible doit être considéré comme modifié par le système. Dans cette optique, la société et l'environnement sont des coproductions et s'imposent des contraintes mutuelles. La conception technocentrique prend en compte l'existence d'un domaine où il est difficile de distinguer l'environnement de la société. On trouve dans ce

¹ Cette partie est tirée d'une note réalisée par Jacques Theys pour l'IFEN en 1993, une version plus détaillée est disponible en annexe 1. Référence : Theys J., « L'environnement à la recherche d'une définition », Notes de méthode de l'IFEN, n° 1, juin, 1993.

domaine des objets à la fois naturels et artificiels, comme les espaces verts urbains ou les espaces agricoles cultivés².

L'approche technocentrique, en introduisant la notion de bouclage entre société et environnement, est celle qui paraît la plus juste pour rendre compte des problèmes environnementaux aujourd'hui rencontrés : l'activité humaine est à l'origine de problèmes et de risques environnementaux, qui doivent être anticipés et gérés par une adaptation de ces activités aux contraintes naturelles, afin de résoudre les tensions. Cette conception insiste sur un double mouvement de « naturalisation de la société » et de « socialisation de la nature ».

L'approche technocentrique paraît appropriée pour éviter une approche sanctuarisée et réductrice de l'environnement. Pour autant, sa dénomination est ambiguë car elle réintroduit paradoxalement une approche techniciste. C'est pourquoi **nous parlerons plutôt de conception intégrée ou systémique de la nature dans notre rapport, tout en adoptant un point de vue « technocentrique »**.

Des controverses scientifiques aux controverses politiques

La notion de **controverse** est au cœur de ce rapport. Les **controverses scientifiques** sont le moteur des sciences, qui progressent par le questionnement, elles sont nécessaires bien au-delà des oppositions qu'elles peuvent suggérer. Alors que les **controverses publiques et/ou politiques** font intervenir différentes catégories d'acteurs, économiques, politiques, sociaux, pouvant correspondre à des visions ou des intérêts propres. Les controverses politiques peuvent également naître d'incertitudes ou de manque de connaissance. A titre d'exemple, « *le monde associatif voit parfois des controverses là où, pour les scientifiques, il n'y en a pas. Ces controverses proviennent donc en bonne partie d'incompréhensions sur les concepts* » [J; Weber]. Les débats autour de la « monétarisation » ou « marchandisation » des ressources naturelles, qui ne peut être réduit à ces deux terminologies, illustre la difficulté d'user des concepts économiques. Ces controverses, quelles qu'elles soient, expriment toujours, pour les acteurs de la société civile, la nécessité d'approfondir le débat, de décrypter davantage les enjeux alors que le contexte, marqué par l'urgence, l'impose. L'Etat des lieux prospectif des controverses sur les ressources naturelles prend en compte les deux types de controverses, scientifiques et politiques. Néanmoins, il ressort de cette étude l'importance des secondes par rapport aux premières. Le choix du mode de gestion des ressources naturelles fait l'objet de controverses bien plus que le rythme de raréfaction de ces mêmes ressources. Parce qu'il s'agit d'un choix de société, qui incarne une vision d'avenir.

² En ce qui concerne les métaux, on peut faire la distinction entre les ressources naturelles présentes dans la géosphère (ressources primaires des gisements métalliques géologiques) et les ressources de la technosphère, accumulées dans les objets et constructions humaines, et éventuellement disponibles en fin de vie dans les déchets (ressources secondaires accessibles par recyclage).

Synthèse

Synthèse globale de l'état des lieux prospectif

La finitude de la planète se comprend en termes de rareté et de pressions sur les milieux physiques.

L'économie écologique, concept au cœur de cette étude, pose pour principe que **la durabilité du système ne peut se concevoir qu'avec la durabilité écologique**. Celle-ci doit se comprendre comme un ensemble de réponses à apporter aux enjeux de **rareté des ressources ou de résilience des milieux**. Ces réactions de nos sociétés demeurent des conditions nécessaires pour répondre aux besoins fondamentaux, à la sécurité, au bien être des personnes.

Cependant la gravité des pressions sur les ressources, l'évolution des usages que les sociétés en font et l'irréversibilité des pollutions, nous confrontent à des choix majeurs, voire des transformations nécessaires dans le lien homme nature. Nous sommes en effet dans une **relation de dépendance réciproque de la société et de l'environnement**. L'environnement est à la fois dans et autour de la société, il est modifié par le système et dans cette optique, la société et l'environnement sont des coproductions et s'imposent des contraintes mutuelles. Cette approche **qualifiée d'intégrée ou systémique**, sous-tend un bouclage entre société et environnement qui ne peut plus être ignoré : l'activité humaine est à l'origine de problèmes et de risques environnementaux, qui doivent être anticipés et gérés par **une adaptation de ces activités aux contraintes naturelles et de leurs évolutions**. Cette conception dépasse une approche sanctuarisée de l'environnement et au contraire insiste sur un double mouvement de **naturalisation de la société** et de **socialisation de la nature**.

La prise en compte des limites de la planète et des technologies disponibles, mais aussi les contraintes du contexte de la mondialisation de l'économie et de la crise économique et financière appellent des **changements profonds dans les comportements et les régulations**. Notre objectif est donc **d'analyser les mutations nécessaires et les processus de transition** qui peuvent les permettre. Le rapport « Etat des lieux des controverses sur les ressources naturelles » est le premier volet d'une étude prospective portant sur la transition vers une économie écologique et équitable (TEEE), à l'horizon 2050. Aucune réflexion ne pourrait être féconde si elle ne lève pas les degrés d'incertitudes sur les limitations et les contraintes sur les ressources, les conflits d'interprétation existants sur l'état des ressources naturelles...

La finitude de la planète se traduit par la notion de rareté, distincte selon les ressources, et de pressions sur les milieux physiques. **Si la globalité des menaces est reconnue, elle demeure controversée quant à son ampleur, ses temporalités, ou ses réponses à apporter**. C'est donc dans un souci de clarification et de pragmatisme quant aux tendances à infléchir qu'il nous a semblé

nécessaire, parlant de finitude, de préciser les ressources dont il est question et les problèmes posés par la rareté et à partir desquelles il faut comprendre l'ampleur de la mutation à engager, indépendamment de quoi les crises écologiques viendraient amplifier les crises sociales et économiques. La transition ne se pense plus en coût mais en surcoût. La maîtrise de la rareté des ressources naturelles peut être un moteur pour engager la transition et provoquer les ruptures nécessaires.

Cinq catégories de ressources distinctes quant à leur finitude

Il convient de distinguer plusieurs catégories de ressources, chacune étant marquée de manière spécifique par sa confrontation aux **limites, selon un ensemble de critères, à la fois environnementaux mais également sociaux, économiques et politiques.**

- **La biodiversité** en tant que question globale et transverse, dont l'érosion est avérée, allant jusqu'à des grandes extinctions et des écosystèmes menacés qui affectent aussi des communautés, des modes de vie ;
- **Les ressources métalliques et minérales** (dont on exclut volontairement les ressources fossiles) : elles sont constitutives de la couche terrestre, ne sont pas dans l'absolu menacées par la rareté. En revanche, elles deviennent rares dès lors qu'elles ne sont pas réutilisées, ou recyclées, compte tenu d'un coût d'extraction croissant ;
- **Les ressources énergétiques** (ressources fossiles, nucléaires et renouvelables), se décomposent à l'usage. Ces combustibles fossiles étant d'origine biologique, leur présence est limitée sur la couche superficielle de la planète et les stocks sont déjà sous pression. Cependant ce sont des ressources déjà substituables par des énergies alternatives.
- **Les milieux physiques** : sols, eau, air et atmosphère, dont les contraintes, souvent sanitaires, sont vécues et perçues au niveau local, alors que leur gestion nécessite une gouvernance interterritoriale, régionale voire globale. Les différences territoriales sont très grandes. Les conflits d'usage sont aussi au cœur de problèmes de gouvernance
- **Les ressources alimentaires**, font l'objet d'un traitement à part même s'il s'agit surtout de l'usage transversale des ressources précitées, notamment les milieux et la biodiversité. Elles illustrent la complexité et le traitement nécessairement systémique de ces enjeux.

Cette appréhension différenciée des limites sur les ressources permet de mieux cerner de quelle **optimisation de la gestion de la ressource il est question.**

« Un monde fini » : les facteurs de rareté

Si la **rareté des ressources naturelles** fait l'objet d'un constat scientifique partagé, elle désigne surtout un processus dynamique, relatif à l'intégration des sociétés à leur environnement. En premier lieu, la rareté doit être comprise dans ses deux dimensions :

- **quantitative**: manque, vacuité, finitude... d'un stock objectif (mesuré selon les connaissances disponibles et pouvant donc être variable) par rapport à des besoins de manière permanente, régulière, ponctuelle ; elle peut être globale ou locale.
- **qualitative** : peu fréquente, précieuse... qui peut donc avoir une **valeur**.

Chacune des catégories de ressources connaît des niveaux de rareté qui peuvent varier dans le temps et dans l'espace, être la résultante de facteurs physiques ou anthropiques. Il ne faut d'ailleurs pas seulement parler en termes de vitesse mais d'accélération. Si le vivant, avec ses phénomènes d'émergence et ses complexités, ses instabilités et variabilités, s'adapte à tout, peut-être pas à toutes les vitesses et encore moins à toutes les accélérations. Là est l'inquiétude des scientifiques. Les interactions entre les différents facteurs peuvent venir accentuer un phénomène de rareté. Le rapport souligne ainsi l'importance des logiques socio-économiques, institutionnelles et organisationnelles en vue d'une optimisation de la gestion des ressources naturelles.

La non renouvelabilité des ressources

Les ressources fossiles et nucléaires sont limitées et disparaissent lors de leur utilisation. Il n'y a pas - à ce jour - de recyclage possible. Une réelle contrainte physique existe donc pour ces ressources, qui se traduit par une augmentation croissante du prix de l'énergie dans un contexte de croissance de la population et des niveaux de consommation énergétiques. Au-delà des controverses réveillées sur les opportunités offertes par l'exploitation des gaz et pétroles non conventionnels, il faut admettre les limites physiques de ces ressources, qui contraignent leur exploitation. Le pétrole sera cher avant d'être rare.

La perte de la biodiversité, extinction des espèces et atteintes au patrimoine génétiques, sont autant de ressources naturelles perdues pour la subsistance des populations, et autant d'atteintes au patrimoine global, sans même que cette perte soit, au vu de l'état des connaissances actuelles, réellement mesurable.

La répartition inégale des ressources sur la planète amplifie les inégalités territoriales

La non correspondance entre la carte des besoins et la carte des ressources génère une rareté de fait. Les ressources naturelles sont en effet inégalement réparties sur la planète. Cette acception est valable pour les différentes catégories de ressources : ressources en eau disponibles, qualité des sols variables... Les principaux réservoirs de biodiversité mondiale sont de manière remarquable inégalement répartis sur la planète. Les ressources énergétiques, les matériaux dont la demande explose (terres rares notamment) et les capacités de production de ressources alimentaires sont inégalement réparties et / ou exploitées.

Deux facteurs d'accélération de raréfaction des ressources naturelles

L'impact des espèces exotiques envahissantes sur la biodiversité par exemple, par modification des chaînes alimentaires et du fonctionnement des écosystèmes, qui menacent certaines espèces, qui peuvent altérer les capacités de production agricole.

Les changements climatiques : le réchauffement global a des impacts territoriaux spécifiques, sur la biodiversité, les sols, les ressources en eaux, qui alimentent en fonction des contextes locaux le processus de raréfaction de ces ressources naturelles.

« L'infini dans un mode fini » : l'optimisation de la gestion de la ressource jusqu'au moindre grain de matière

Cette gestion de la rareté ou de la pression sur les milieux se pose :

- **en termes de potentiel d'optimisation** des processus de production et des comportements de consommation, dans l'optique de passer d'une gestion de stocks à une gestion de flux
- **en fonction de la demande et donc de nos modes de vie**. Penser d'autres usages, qui exerceraient moins de pression sur les ressources, revient aussi à interroger nos modes de vie futurs.
- **en termes d'accès**, et donc de droits, de privatisation...
- **selon les gestions des conflits d'usage**

Si une vision intégrée est communément défendue, paradoxalement, l'approche est bien souvent thématique voire sectorielle. Ainsi tous les secteurs économiques sont interpellés quant aux finalités, conditions de production et de développement à court, moyen ou long terme : agriculture, industrie, mines, tourisme, aménagement, urbanisme... Ces activités humaines posent invariablement la question des conditions d'accès aux ressources et en arrière fond celles des marchés (évolution des prix) et des nouvelles technologies. Quelles sont les vraies ou fausses solutions face à ces défis ? Y a-t-il un pré-requis technologique pour parier sur l'avenir et apprécier l'ambition portée à la durabilité environnementale ?

Les impacts des modes de production

La dégradation indirecte des ressources naturelles par les pratiques d'exploitation. Les activités d'extraction minière, comme l'usage intensif d'intrants en agriculture ont un impact sur l'environnement et contribuent à la raréfaction des ressources en eau, à la dégradation de la qualité des sols. Ce sont des pollutions à la fois locales et globales (pollution des nappes phréatiques, des mers et océans ; rejets industriels...).

La non prise en compte des capacités de régénération dans le temps, pour ce qui concerne l'exploitation de la forêt par exemple.

Les pertes et non usages ou gaspillages

Le gaspillage s'exprime par des pertes de ressources tout au long du cycle d'exploitation. La production mondiale de déchets est équivalente à 12 milliards de tonnes par an [OCDE]. 1/5e de l'extraction mondiale est transformée en déchets. Si 60 GT de matières sont extraites par an : destinées à un usage économique, l'équivalent de 40 GT est extrait sans être utilisé (extraction intérieure inutilisée) : morts-terrains, résidus de récoltes, pêches accessoires, gaspillages alimentaires... a contrario l'efficacité est à envisager au regard de la productivité de la ressource.

La non prise en compte du caractère renouvelable, car certaines ressources naturelles, sont renouvelables, telles que les ressources minérales, mais ne bénéficient pas aujourd'hui des technologies de recyclage suffisantes. Constitutives de la croûte terrestre, ces ressources sont abondantes, même si leur disponibilité varie très fortement d'une ressource à l'autre. En outre, elles

peuvent être recyclées et réutilisées. Contrairement aux ressources fossiles, les ressources minérales non fossiles posent une confrontation à la rareté en termes d'abord technique, puis en termes économiques et géostratégiques.

La restriction des droits d'accès et d'usage

La pression anthropique croissante, avec l'accroissement démographique et des modes de vie urbains sont des facteurs d'accroissement des besoins, donc de la demande et contribuent à l'épuisement des ressources. Nous serons 9 milliards en 2050. Les ressources per capita se réduisent d'autant si l'on projette les tendances actuelles dans le futur.

La privatisation et les limites au droit d'accès. Le modèle de développement et de gestion des ressources hérité de la révolution industrielle et qui s'est répandu avec la société de consommation (et de surconsommation), crée une rareté économique, sous l'effet des conditions d'approvisionnement, d'exploitation et de récupération, et d'allocation des ressources. Cette rareté fonde les prix relatifs des ressources en fonction des techniques de production. La rareté économique est par définition l'expression de l'appropriation privée des ressources et de l'omniprésence du mode de régulation par le marché.

Jusqu'à une monopolisation voire une privatisation dénoncée des ressources. Le phénomène de biopiraterie traduit le conflit qui peut opposer les territoires pourvus en richesse biologique et des acteurs « exploitant » en l'absence de règles internationales justes et d'instances de régulation transparentes dotées de réelles capacités d'intervention.

La concurrence des usages de l'eau, des sols s'accroît fortement, en témoigne le phénomène d'accaparement des terres à vocation énergétique ou alimentaire au niveau international. **En France, la question des sols est mal appréhendée**, et pâtit de l'absence de vision globale seule à même de proposer une répartition des usages conforme aux besoins et à la nécessaire préservation de la ressource.

La restriction des usages avec le réchauffement climatique notamment qui impose une contrainte globale inédite à l'humanité : la réduction des émissions de gaz à effet de serre par deux d'ici 2050 par rapport à 1990 au niveau mondial et par 4 (facteur4) pour les économies développées. Pour stabiliser le climat la création artificielle de marchés de permis d'émission, utilisant les mécanismes de régulation économique concurrentielle, encore limitée à certaines zones géographiques, semble impuissante à obtenir un fort découplage entre production et émissions de gaz à effet de serre.

Panorama des contraintes sur les ressources naturelles disponibles et évolutions prévisibles

L'objectif est ainsi de proposer un cadre d'appréhension global de la rareté des ressources naturelles. Celui-ci contribuera à une réflexion prospective sur l'optimisation de la gestion des ressources

Ressources	Tendances	Tensions probables / enjeux
Ressources énergétiques (fossiles, nucléaires,	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la consommation ; - Augmentation des coûts d'extraction et d'exploitation ; 	<ul style="list-style-type: none"> - Enjeux géopolitiques : Basculement géopolitiques, interconnexion croissante des marchés mondiaux.

renouvelables)	<ul style="list-style-type: none"> - Arrivée en fin de vie de certaines grosses infrastructures électriques ; - développement des gaz non conventionnels, - Développement de la géo ingénierie - Développement des ENR et économies d'énergies. - Peak oil 	<ul style="list-style-type: none"> - Incertitudes sur l'évolution des prix de l'énergie - Europe dépourvue de ressources dans un contexte de concurrence accrue. - Economie, sobriété ; efficacité ; développement des ENR. - Territorialisation
Ressources minérales (hors fossiles)	<ul style="list-style-type: none"> -Augmentation des besoins en matériaux métalliques, minéraux industriels et matériaux de construction. -- Importance majeure de certains métaux et de matériaux minéraux dans les filières vertes. -Réinvestissement de l'UE et de la France de l'ensemble du secteur minier (?) 	<ul style="list-style-type: none"> - Concurrence accrue sur les marchés mondiaux. - <i>Quelle dépendance de la France et de l'Europe ? => Réduire la vulnérabilité stratégique française et européenne.</i> -Recyclage et lutte contre le gaspillage.
Ressources biologiques	<ul style="list-style-type: none"> -Augmentation des besoins pour tous les usages : se loger, se nourrir, se vêtir -Compétition de plus en plus forte entre les différents usages, voire communautés 	<ul style="list-style-type: none"> - Accès aux ressources génétiques et partage des avantages. - Impacts des technologies du vivant (génétique, matériaux,...) - Anticipation et adaptation aux impacts du changement climatique
Milieus physiques	<ul style="list-style-type: none"> -Dégradation des ressources : Artificialisation des sols et appauvrissement, concurrence d'usages (agriculture, énergies, forêts, urbanisation) ; -Risque de stress hydriques, phénomènes extrêmes sous fond de détérioration de la qualité de l'eau ; -Augmentation des émissions de CO₂. -Impacts des changements climatiques ⇒ <i>Pressions accrues, détérioration et compétition d'usages</i> 	<ul style="list-style-type: none"> -Economies d'eau et lutte contre le gaspillage. -Gestion durable et intégrée des milieux physiques. -Risques de conflits accrus pour l'accès à l'eau. -Sécurité alimentaire, famines.
Ressources agricoles	<ul style="list-style-type: none"> -Impacts de la chimie sur l'eau, les sols, l'air, la faune et la flore, -Appauvrissement des sols, -Perte de biodiversité, -Pression très forte sur les ressources en eau (pour l'irrigation), en minerais (potasse, phosphates), en énergie (dépendance aux hydrocarbures) 	<ul style="list-style-type: none"> - Evolution du modèle de production -Equilibres territoriaux entre espaces urbains et ruraux. -Simplification des démarches d'installation

Engager la transition vers une économie écologique et équitable

L'état des lieux fait ressortir l'importance des facteurs économiques et politiques. A partir de là, les sociétés sont en mesure d'intervenir et d'agir en faveur d'une optimisation de la gestion des ressources naturelles, qui devra intégrer l'usage ainsi que les droits y afférant, ou encore les conditions d'accès liées au contexte local. Non homogènes, non reproductibles, et connaissant des seuils d'irréversibilité, les ressources naturelles ne peuvent être apparentées à de simples facteurs

de production et appellent à une adaptation / transformation du modèle économique, soutenue par un nouveau contrat social³.

L' « Etat des lieux des controverses sur les ressources naturelles », et l'ensemble du projet de recherche sur la transition vers une économie écologique, permet de mettre en avant un ensemble d'interactions et de dynamiques structurant l'organisation sociale :

- les formes et instances de régulations aux différentes échelles, de l'international au local, et les interactions inter échelles ;
- les normes et réglementations ;
- les formes de démocratie territoriales et locales.
- La mise en œuvre des droits pour tous.

Ces relations sociales imposent de prendre en compte les rapports de pouvoirs et de domination, les capacités d'intervention de chaque acteurs : citoyen, entreprise, collectivité, organisations de la société civile, quel rôle et responsabilité, quels droits pour chacun dans la gestion et l'accès à ces ressources ? Système fiscal, droit environnemental et droit de propriété sont des outils privilégiés pour agir en ce sens.

Les modes de production et de consommation ont un rôle moteur central dans la transition vers une économie écologique. Ils doivent évoluer vers une plus grande sobriété et viser une durabilité forte. Dans cette optique, la productivité des ressources naturelles constitue un indicateur phare tout comme le découplage entre la croissance économique et la consommation de ressources et ses retombées sur l'environnement.

Synthèse thématique de l'état de lieux prospectif

Biodiversité

Récapitulatif des controverses sur la biodiversité

L'érosion de la biodiversité

Globalement, **l'érosion de la biodiversité en tant que telle n'est pas l'objet de controverses**. Les instruments de mesure et la connaissance actuelle de la biodiversité ne permettent pas de donner le rythme exact d'érosion, mais un consensus existe entre les différentes communautés scientifiques sur l'état et les tendances de la biodiversité pour lesquels le *Global Biodiversity Outlook* fait référence.

Les causes de cette érosion font également l'objet d'un large consensus, tout au moins au niveau global :

- ✓ la modification des habitats
- ✓ la surexploitation
- ✓ les pollutions, locales et globales (pollution des nappes phréatiques, des mers et océans ; rejets industriels...)
- ✓ les espèces exotiques envahissantes

³ « L'information et l'éthique d'un partage planétaire des responsabilités environnementales plaident dans l'esprit des nouvelles écoles théoriques, pour une rareté non plus subie mais réappropriée, maîtrisée par les sociétés et les communautés » [Michel Langlois].

- ✓ les changements climatiques.

Comme on le constate, la liste des incertitudes, opportunités ou menaces nouvelles qui pourraient affecter la biodiversité à l'horizon 2030 est longue. Le constat met en avant notamment :

- ✓ « les conséquences pour la biodiversité d'une **compétition accrue sur les ressources** que sont la forêt, la mer et le sol (à la fois comme espace et comme humus) ;
- ✓ les **impacts du changement climatique et de la transition énergétique future**. Si, à l'horizon de la fin du siècle, ce dernier facteur sera sans doute déterminant, les scientifiques n'en sont encore qu'au tout début de l'évaluation de ses conséquences pour la biodiversité future et les stratégies d'adaptation nécessaires restent à élaborer. »⁴

Les scientifiques s'accordent également pour souligner la **gravité des impacts de cette érosion** dans un contexte cependant marqué par de fortes incertitudes dues essentiellement à :

- ✓ Un manque de connaissance évident de la biodiversité et donc une approche lacunaire de la question de son érosion,
- ✓ Le caractère essentiellement systémique de la biodiversité dans son ensemble, et donc la difficulté d'isoler les potentiels impacts de la dégradation des ressources biologiques.

La gestion de la biodiversité

Les controverses concernant les moyens d'y remédier et les ambitions à fixer sont autrement considérables. En premier lieu parce que les instruments de gestion dont nous disposons sont complètement prisonniers de nos représentations culturelles, qui conditionnent les approches philosophiques, économiques et politiques.

Des approches contrastées de la relation Homme-Nature

Conservationnisme : préservation de la diversité biologique via :

- la conservation de la diversité génétique, grâce à une protection *in situ* dans le milieu naturel (ex : dans une réserve naturelle), une protection *ex situ* (ex : en jardin conservatoire, en élevage conservatoire), avec éventuellement culture *in vitro* ou conservation dans une banque de graines ou de gènes.
- à l'échelle du territoire, la délimitation d'une réserve naturelle, d'un parc naturel régional, national ou transnational.

Intégration : une approche intégrée et systémique de la nature qui tient compte des besoins socioéconomiques et environnementaux. L'objectif est ici de contribuer à enrayer l'érosion de la biodiversité, dans son interaction avec l'homme et les différents milieux (urbains, agricoles, littoraux,..). Il sera essentiel d'encourager une gestion environnementale participative

Economie : quels instruments de régulation ?

Évaluation économique des services écosystémiques :

Cette position découle de l'économie de l'environnement : intégration par les prix des externalités négatives. L'inclusion des services rendus par la nature dans l'économie marchande permettra de remédier aux dégradations dues aux activités humaines et subies par l'environnement. La raréfaction des ressources et leur détérioration exigent en effet, dans le cadre du libéralisme économique, une intensification de la gestion privée, l'attribution d'un prix censé représenter la « valeur » de la nature.

Biens communs : une gestion locale, par une communauté d'utilisateurs qui définit collectivement les règles d'usages de la ressource, peut permettre de mieux protéger celle-ci.

Ressources génétiques : quel partage des avantages issus de leur utilisation ?

Pays du Nord : protéger les droits de propriété intellectuelle

- faciliter l'accès aux ressources,
- disposer d'un cadre juridique clair pour les échanges internationaux,
- renforcer la protection des innovations via des droits de propriété intellectuelle.

Pays du Sud : en finir avec la biopiraterie

- recueillir les bénéfices de l'exploitation par les pays du Nord des ressources naturelles : reconnaissance des savoirs locaux et pratiques associés,
- clarification de la question des produits et dérivés,
- reconnaissance de la rétroactivité : mettre en place des indemnités pour l'exploitation de des ressources lors de

⁴ Ibid, p.9-10

la colonisation,
- réforme du droit des brevets.

Quelles régulations ? A quelles échelles ?

Que l'intégration de prix de la nature puisse réussir à court terme, localement, et à un niveau microéconomique, est évident. Mais cette orientation n'est pas sans poser de nombreuses interrogations. Parler de biens communs au lieu de «ressources» pourrait en effet permettre de trouver un langage commun entre des cultures différentes : le terme «ressource» est marqué en effet par l'extériorisation et l'instrumentalisation de la nature, par un anthropocentrisme, caractéristique de la civilisation occidentale. Comme il ne s'agit pas d'opposer à cet anthropocentrisme un biocentrisme, le terme «bien commun», en insistant sur le rôle des communautés humaines et sociales, peut permettre un dialogue des civilisations au lieu de leur affrontement, à l'échelle internationale.

Ressources minérales (hors ressources minérales énergétiques)

Constitutives de la croûte terrestre, les ressources minérales, hors ressources énergétiques, sont abondantes, même si leur disponibilité varie très fortement de l'une à l'autre et que les coûts d'extraction sont amenés à augmenter. Elles peuvent en outre être recyclées et réutilisées. Contrairement aux ressources fossiles, les ressources minérales non fossiles posent donc la contrainte de la rareté, non pas en termes physiques mais d'abord économiques. L'inégale répartition de ces ressources sur la surface de la planète engendre des enjeux géopolitiques forts quant à leur exploitation et leur utilisation.

Cinq types de ressources minérales, constitutives de la croûte terrestre

Cinq grands types de ressources minérales peuvent être distingués : les matériaux de construction, les minéraux industriels, les ressources minérales utilisées dans l'agriculture, les métaux et les métaux rares.

❖ Les matériaux de construction

Les pondéreux sont souvent disponibles en abondance du point de vue de la ressource géologique, même si certains pays ou régions sont dépourvus de couches sédimentaires appropriées et peuvent accuser un déficit en capacité de production de ciment ou de plâtre. Ces substances illustrent néanmoins un paradoxe lié aux tendances de l'urbanisme et aux pratiques de construction. Les mégapoles sont des lieux de forte demande, qui repoussent mécaniquement les limites des zones de production à des distances toujours plus grandes. Une partie des besoins en pondéreux pourra être couverte par un recours accru aux **filières de recyclage**, mais une réflexion est également à engager afin de **disposer de sites d'extraction à proximité des zones de consommation** pour éviter les coûts de transports excessifs de pondéreux.

❖ Les minéraux industriels

Les minéraux industriels sont aussi issus de formations géologiques qui ne se caractérisent pas par leur rareté, mais par **des propriétés plus ou moins favorables à leur exploitation** : accessibilité,

géométrie du gisement, pureté notamment. C'est un **domaine des ressources minérales très ouvert aux innovations**, qu'elles soient technologiques et industrielles ou qu'elles portent sur la dimension géologique de la ressource. Comme dans le cas précédent, on ne se heurte pas généralement ici à des problèmes de finitude des ressources géologiques, mais plutôt à des questions d'accessibilité ou de coût de transport ou de traitement. Plus il faudra creuser profondément pour les obtenir, plus évidemment les coûts augmenteront. L'augmentation des coûts d'accès à ces ressources sera une préoccupation qui sera prégnante bien avant leur rareté.

❖ Les ressources minérales pour l'agriculture

L'intensification des cultures passe par l'usage d'intrants, nécessaires à la croissance des végétaux et à de nouvelles pratiques d'agro-écologie et d'agroforesterie. Il s'agit essentiellement de l'azote, de la potasse et du phosphore (N, K, P). Ces minéraux très demandés sont relativement fréquents dans la croûte et les enveloppes externes de la terre. Néanmoins, c'est un ensemble de substances minérales auquel il est prêté une attention insuffisante en termes de développement durable, et sur lequel les tensions, en termes de prix et même de durabilité physique, pourraient s'avérer plus fortes que sur les métaux, sur lesquels se concentrent aujourd'hui les réflexions stratégiques.

❖ Les ressources minières métalliques

Présents à toute profondeur dans la lithosphère, les métaux soulèvent des difficultés géopolitiques d'accès aux gisements les plus rentables, et des questions de coût pour les gisements de qualité plus médiocre (teneur, profondeur, risques dans l'extraction, distance d'approvisionnement...). En outre, **les métaux sont tous recyclables, voire réutilisables**. Là encore, la problématique est davantage celle d'une augmentation des coûts plus que celle de la rareté physique.

❖ Les métaux rares

Une distinction des catégories de métaux considérés comme stratégiques et en particulier des terres rares ou des métaux du groupe du platine, est indispensable : ces métaux nécessaires pour les hautes technologies, utilisés notamment dans les TIC et l'aérospatiale permettent de nouvelles applications dans le bâtiment, les transports et l'électronique, mais aussi pour la plupart des technologies vertes. Quatre problématiques distinctes peuvent être évoquées sur la question des métaux rares : la *disponibilité* des ressources elle-même, *l'accès* à ces ressources en fonction de leur localisation et de leur concentration (avec leur dimension géopolitique), *les coûts* (en fonction des conditions d'extraction, de la structure des marchés, de la relation offre-demande) et enfin les *processus spéculatifs* qui peuvent s'y ajouter.

La position quasi-monopolistique de la Chine en termes de production (plus de 90% en 2010), mais aussi de consommation (plus de 60%) des terres rares, et le contrôle qu'elle a introduit sur ses exportations en 2010, avec la forte croissance des cours qui s'en est suivie, ont conduit à une reprise des travaux d'exploration et de développements miniers dans le monde. Les projets les plus avancés se situent aux Etats-Unis, en Australie, au Canada et en CEI. La répartition estimée des réserves qui en découlent montre que celles-ci seront suffisantes pour couvrir les besoins du XXI^{ème} siècle, avec un faible risque de pénurie d'origine géopolitique, la Chine ne disposant pas de plus de 37% des ressources mondiales.

Il n'existe pas à proprement parler de controverses explicites en termes de limites sur les ressources minières **hormis pour certains matériaux stratégiques**, notamment dans le domaine de l'énergie, et plus particulièrement du stockage de l'électricité ou des énergies renouvelables : le lithium pour les batteries, les terres rares pour les aimants permanents, le groupe du platine, la silice pure...

Si les ressources minérales non énergétiques posent d'abord des contraintes d'accès et de coût, avant de poser des problèmes de rareté, la répartition géographique de ces ressources et les conditions de leur exploitation soulèvent des enjeux géopolitiques et de développement.

❖ Les enjeux de développement liés à l'activité extractive

Face aux pillages des ressources effectués dans certains pays par des multinationales et aux conséquences socio-économiques de certaines activités extractives, une critique forte émerge, hostile à toute forme d'exploitation du sous-sol, mettant en avant la « **malédiction des matières premières** », qui associe en un solide cercle vicieux, pauvreté des populations et richesse en ressources naturelles. Les activités extractives sont en effet associées à des dégradations multiformes de l'environnement et à des traitements sociaux inacceptables. A cela s'ajoute les cas de détournement de la richesse des pays détenteurs de ressources mais en manque de capacité publique de maîtrise des activités extractives. La **relation aux pays détenteurs de ressources du tiers monde doit donc évoluer**. Les activités extractives peuvent constituer un facteur de développement pour ces pays, à condition que ces ressources soient payées à leur juste prix (incorporant le développement social et environnemental) et que les conditions de travail soient mieux encadrées.

❖ Politiques des matières premières minérales et enjeux géopolitiques

Dans le domaine des matières premières minérales, l'absence de politique industrielle de la France ces dernières années est réelle. Cela concerne le territoire national mais également les stratégies géopolitiques internationales. La controverse porte ici sur le **bien-fondé des politiques européennes et plus particulièrement françaises** – depuis une vingtaine d'années – de désinvestissement dans l'ensemble du secteur minier, qui rend l'économie industrielle dépendante de filières de productions dans les mains de géants miniers étrangers (groupes australo-américains, chinois, brésiliens, indiens...). La dissociation partielle entre pôles producteurs et consommateurs de ressources engendre un enjeu central pour les relations internationales.

Depuis la fin des années 1990, la croissance économique mondiale soutenue, tirée par les pays émergents depuis la crise financière de 2008, stimule le cours des matières premières, notamment extractives. La fin des ressources aisément accessibles a des implications géopolitiques fortes : elle déclenche la **course à des ressources nouvelles** jusque là protégées par l'hostilité de leurs environnements écologiques (pôles, offshore ultra-profond, forêts denses) ou géopolitiques. L'aventurisme extractif moderne, en abordant ces nouvelles frontières, dans des espaces parfois sous surveillance de l'opinion publique mondiale pour leur haute valeur écologique, soulève donc de nouveaux risques, environnementaux et politiques, et donc de nouveaux dispositifs de gestion du risque et de protection de ces activités. De plus, chaque boom déclenche un regain de nationalisme extractif, aussi fragile que les rentes qui l'ont rendu possible.

L'interrogation porte enfin aujourd'hui sur les capacités, non pas tant concernant les ressources du sous-sol que l'organisation des filières industrielles (notamment pour le recyclage) et le renouvellement de ressources humaines compétentes.

Globalement, les ressources minérales ne sont pas exposées à la rareté, même si les disponibilités varient fortement d'une ressource à l'autre. Néanmoins, il existe une réelle vulnérabilité stratégique du fait de l'inégale répartition des ressources sur Terre. Les coûts d'extraction d'un grand nombre de ressources minérales iront en augmentant, il est donc essentiel d'économiser et de recycler ces ressources indépendamment de la question de leur raréfaction. Une transition vers une économie écologique nécessite une réflexion approfondie sur nos politiques industrielles et minières, afin de prendre en compte les questions d'approvisionnement en matières premières indispensables aux « filières vertes », qu'il s'agisse des métaux nouvellement stratégiques (lithium, terres rares, groupe du platine...) ou de matériaux minéraux (silice, carbone...).

Ressources énergétiques (fossiles, nucléaires et renouvelables)

A la différence des ressources minérales citées précédemment, les ressources énergétiques fossiles et nucléaires sont disponibles en quantité limitée et disparaissent lors de leur utilisation ; une réelle contrainte physique existe donc. Ce sont des énergies de « stock », provenant de gisements limités de combustibles fossiles : pétrole, charbon, gaz et uranium. S'y opposent les énergies de « flux », les renouvelables, caractérisée par une forte abondance, bien au-delà des besoins de l'humanité.

La question de la rareté par type de ressources énergétiques

❖ Les ressources fossiles (pétrole, charbon, gaz)

La question des ressources fossiles est certainement celle qui a fait l'objet du plus grand nombre de recherches et de publications. Le domaine des hydrocarbures est en effet celui où l'on détient les meilleures connaissances du fait des investissements publics et privés consentis. Schématiquement, les controverses s'illustrent à travers deux positions :

- Les tenants du « business as usual »

Cette position est défendue par certains économistes de l'énergie, les principales entreprises pétrolières, l'Agence Internationale de l'Energie (jusqu'en 2008), ainsi que le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), qui s'appuie sur les publications de l'AIE. Pour ces acteurs, la question de la limitation des ressources en hydrocarbures ne se pose pas, car elle pourra être résolue dans le futur pour de nouvelles technologies et des avancées techniques. Les dépenses d'exploration et de production croissent et permettent de mettre sur le marché des quantités supérieures, soit par l'amélioration des technologies de production, augmentant les taux de récupération (production assistée, pétrole et gaz de schistes...), soit du fait de nouvelles découvertes (plus profondes, plus lointaines, off-shore...).

- Les tenants du « pic oil »

La théorie du pic pétrolier, développée par King Hubbert dans les années 50 aux Etats-Unis, est soutenue par les géologues pétroliers de l'Association for the Study of Peak Oil (ASPO), certains écologistes et associations. Ces derniers reconnaissent que l'épuisement des ressources fossiles est inéluctable car la croissance exponentielle de la demande entraîne, face à des gisements en quantité limitée, une courbe « en cloche » de la production. Bien entendu, la croissance des coûts de production permet de prolonger le pic, et de passer du pic au plateau, mais en tout état de cause, la production ne pourra dépasser un certain volume annuel. La discussion porte alors sur la date du pic, selon son caractère plus ou moins élevé. L'AIE, qui s'est ralliée en 2008 à la thèse du peak oil, estime que celui-ci est effectivement atteint au plan mondial. A l'exception de quelques contradicteurs, la date désormais couramment admise est 2010.

Ces dernières années, on a vu les certitudes du premier groupe s'effriter. Ainsi, ce n'est plus seulement le changement climatique qui contraint à réduire les consommations des ressources fossiles, c'est aussi la limitation des ressources en combustibles fossiles, et la croissance des prix qui en découle. On trouve là le principal fondement de l'économie écologique.

❖ Les ressources nucléaires (Uranium)

La difficulté d'approvisionnement en ressources nucléaires, en l'occurrence l'uranium, a longtemps été obliérée par l'abondance de l'offre, résultant notamment du démantèlement des armements

soviétiques. Cependant, la question de la rareté des ressources nucléaires se pose aujourd'hui fortement. De la même manière que pour les ressources fossiles, deux positions peuvent être présentées pour l'uranium :

- Les tenants de l'abondance

Ce sont les entreprises nucléaires, minières et les gouvernements des pays nucléarisés, ainsi que l'AIE et l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA). Pour ces derniers, l'uranium est jugé assez abondant dans l'écorce terrestre pour permettre d'alimenter, en toute hypothèse de croissance de la demande, les besoins futurs des centrales, quel qu'en soit le nombre. Outre l'abondance de la ressource, cette assurance repose sur la conviction que les technologies futures permettront d'augmenter le rendement des centrales, allant jusqu'à une production de combustible supérieure au volume consommé grâce à la surrégénération.

- Les sceptiques

Les sceptiques sont les tenants des énergies renouvelables, les mouvements antinucléaires, ainsi qu'une partie des lobbies pétroliers. Ils soulignent que les meilleurs gisements mondiaux seront écrémés dans les 30 prochaines années, et que des risques d'approvisionnement seront à craindre à moyenne échéance. De ce fait – outre les questions de risques technologiques et naturels induits – le passage aux énergies renouvelables paraît préférable en tout état de cause, dans le cadre d'une sortie progressive du nucléaire (en France à horizon 2030-2035 pour certains, 2050 pour d'autres).

Au niveau actuel de consommation, les ressources d'uranium exploitables sont estimées à environ 80 années au niveau actuel de consommation. Néanmoins, que ce soit du fait des coûts globaux du nucléaire, du risque technologique, accru par le poids croissant du changement climatique par exemple, ou du fait des difficultés d'approvisionnement en minerais d'uranium, on trouve ici encore une raison supplémentaire de travailler sur le long terme à une alternative au nucléaire.

❖ Les ressources renouvelables

Les énergies renouvelables présentent une qualité d'énergie de flux, des impacts environnementaux modérés et maîtrisables, une adéquation pour répondre à une demande dispersée ainsi que la nécessité de prendre des précautions face à un avenir énergétique assez incertain. Ces avantages justifient des prises de décisions pour accélérer le développement des énergies renouvelables. De plus, les renouvelables, outre l'indépendance géopolitique qu'elles permettent pour les territoires, se prêtent très bien à un **traitement démocratique** et à une **approche décentralisée** de la gestion de l'énergie, à la différence du nucléaire qui ne peut que faire l'objet d'un modèle quasi militaire, étant donné les risques liés à cette technologie. Seule **la question du stockage** pose encore question afin de répondre au problème de la disponibilité.

La question du mix énergétique adéquat fera l'objet d'un développement particulier dans la suite de nos travaux, le recours à des énergies renouvelables étant au cœur d'une transition vers une économie écologique.

Les enjeux liés à la contrainte physique

L'Europe présente une grande dépendance au plan de son approvisionnement énergétique pour tous les combustibles fossiles, ne possédant plus d'hydrocarbures dans son sol et disposant de ressources charbonnières réduites. Les ressources énergétiques posent ainsi des **enjeux géopolitiques forts**, avec une concentration de ces ressources dans certains pays.

La tendance globale est celle de **l'accroissement de la consommation de ces ressources**, parallèlement à **celui des coûts d'extraction et d'exploitation**. Cette demande plus rapide que l'offre crée des tensions sur les marchés, avec une augmentation du prix de l'énergie. Les tensions continues sur l'approvisionnement international ont donc une conséquence économique directe : **l'augmentation généralisée du prix de l'énergie**.

L'exploitation du charbon pose de nombreux problèmes : exploitation difficile et polluante, un usage très émetteur de gaz à effet de serre (GES). Son utilisation est donc conditionnée aux progrès techniques réalisés en termes de séquestration du carbone.

Lutte contre le changement climatique et évolutions des énergies fossiles sont intrinsèquement liées : ¾ des émissions de gaz à effet de serre découlent de la consommation directe ou indirecte de combustibles fossiles. Une démarche en coût global doit être développée pour appréhender l'économie des projets en prenant en compte de façon attentive et réaliste les évolutions de dépenses de fonctionnement et les prix futurs de l'énergie et du carbone. **Il est donc essentiel d'aborder de façon conjointe les questions d'énergie et de climat.**

La conclusion majeure à tirer est celle d'une augmentation tendancielle du prix de l'énergie : le pétrole sera cher avant d'être rare, et il en est de même des autres énergies (gaz et charbon). Il est évident que la fin de l'énergie peu chère aura des implications socio-économiques majeures au sein des sociétés, comme en témoigne la préoccupation montante autour de la précarité énergétique dans les pays occidentaux. De plus, les produits carbonés (charbon, pétrole et gaz naturel) ont joué le rôle le plus déterminant dans l'essor et la « richesse » des pays occidentaux. Les tensions internationales pour l'approvisionnement en ressources énergétiques risquent donc d'augmenter dans les années à venir. Le développement des énergies renouvelables mais aussi les progrès en termes d'efficacité énergétique devront être une priorité dans le cadre d'une transition vers une économie écologique.

Ressources et milieux naturels

Outre la biodiversité dans son ensemble et les ressources minérales traitées ci-dessus, il est également nécessaire d'aborder l'ensemble des milieux physiques (air et atmosphère, eau, et sols) en tant que ressources et milieux naturels. La gestion de ces milieux doit s'inscrire dans des logiques d'anticipation et de prévention.

Les sols

Les principales pressions que subissent les sols, en Europe et en France en particulier, portent sur 3 contraintes, qui sont autant d'objets de controverses : **l'artificialisation des surfaces** via l'occupation de terres, les **pollutions** (sites pollués et pollutions diffuses) et **l'érosion**. La prise en compte de ces questions en termes de politiques de protection et de réhabilitation ont fait l'objet de nombreux rapports européens qui n'ont encore abouti à la mise en place d'aucune politique commune, faute de consensus, notamment du fait des réserves de l'administration française.

❖ L'artificialisation des terres

Elle est objet d'une critique récurrente en France, du fait du développement de l'urbanisation éparse, en périphérie urbaine et en zone rurale, qu'il s'agisse de « mitage urbain » ou de résidences secondaires. Outre l'impact paysager sur les milieux naturels, et concernant la réduction des terres cultivables, il s'agit aussi d'une forme de « développement » particulièrement consommateur d'énergie concernant les réseaux et les transports.

❖ Les pollutions diffuses et ponctuelles

L'impact des intrants agricoles ou autres (jardins, voirie...) – qu'il s'agisse de nitrates, potasse ou phosphates (engrais NKP), d'herbicides ou de pesticides ainsi que les sites et sols pollués par des activités industrielles ou de services (anciens sites industriels, stations-services, etc.) sont autant de modifications des espaces naturels aujourd'hui à connaître et surveiller pour éviter ou au moins réduire les impacts sanitaires et environnementaux de ces effets d'un passé non durable. Se posent

dès lors les questions de réparation, et de modification des pratiques pour éviter l'extension des nuisances.

❖ L'érosion

Elle est la conséquence d'une part de la déprise agricole, notamment en région méditerranéenne où les terrasses de culture sont rarement entretenues, et d'autre part du remembrement et de la suppression des haies qui constituaient souvent, même en plaine, des remparts contre le ruissellement et l'érosion. Autant de pratiques découlant d'une agriculture aidée, dont la logique intensive devrait être renversée au profit de pratiques agro-environnementales qu'une transition vers une économie écologique devrait permettre de mieux prendre en compte, notamment par le développement des productions et des marchés de proximité.

De nombreux scientifiques s'accordent pour souligner le déficit politique et professionnel de prise en charge de la question des sols, qui ne fait l'objet d'aucune prise en charge globale. La question centrale de la propriété et de la valeur des sols n'a fait l'objet d'une législation que dans de rares pays (Allemagne et Suisse).

L'eau

La question de l'eau, bien que primordiale, fait l'objet d'une grave inertie des dirigeants face à l'urgence et la gravité des enjeux, notamment amplifiés par les impacts du changement climatique. L'eau est surtout **une problématique régionale et non mondiale** ; les enjeux se posent de façon différente entre territoires, avec des possibilités faibles de compensations entre régions. La géographie de l'eau risque de devenir de plus en plus inégale avec le réchauffement climatique. L'accès à l'eau devient donc également de plus en plus inégal.

Pour la France, la question de l'eau se pose essentiellement à travers la **problématique de la qualité de l'eau potable et de l'assainissement**. Le problème est l'aggravation de la pollution de fond à partir de polluants persistants et d'un risque de réduction des volumes d'eau réellement potable.

Trois sujets sur l'eau sont particulièrement au cœur des préoccupations : la question des barrages, l'exploitation des eaux souterraines et les pressions sur les ressources en eau et sur la qualité des milieux.

❖ Les barrages

La question des barrages est très controversée, car les barrages perturbent les milieux dans lesquels ils sont construits. De **nombreux dommages écologiques potentiels** peuvent être évoqués (débits réservés, éclusées, vidanges polluantes, échauffement des eaux retenues...). De plus, les conditions de réalisation des ouvrages sont fortement critiquées par certaines associations et ONG, notamment face aux projets se multipliant en Afrique. Elles dénoncent les **déplacements de population** engendrés, l'altération du fonctionnement des rivières et des fleuves, ainsi que l'émission de GES de ces infrastructures, estimées à 4% du total mondial par les Amis de la Terre France.

Parmi les arguments positifs avancés sur la construction de barrages, on retient l'effet bénéfique des débits d'étiage sur des rivières asséchées par les excès de prélèvement, ainsi que la possibilité de produire de l'hydroélectricité.

❖ L'exploitation des eaux souterraines

Les eaux souterraines représentent un potentiel important, mais les conditions d'exploitation actuelles font l'objet de vives critiques. Des milliers de m³ d'eau ont ainsi été soustraits des réserves aquifères provoquant **ruptures locales du cycle de l'eau et effets externes préjudiciables**. De plus, les eaux retournées après usage (eaux usées urbaines et industrielles) sont une **source majeure de dégradation des qualités des eaux des milieux récepteurs**. Plus indirectement, les activités humaines et les modes d'occupation du sol ont aussi concouru à transformer les régimes et les qualités des eaux

naturelles : impacts de l'urbanisation, des transports, de l'agriculture intensive, du déboisement ou du reboisement, des industries extractives, des déchets... Or, dans la perspective du changement climatique, les aquifères seraient susceptibles de rendre les services nécessaires à l'adaptation.

❖ Les pressions sur les ressources en eau et sur la qualité des milieux

Les bilans hydriques mettent en évidence que l'Europe et une partie de l'Asie et de l'Afrique doivent gérer, dès aujourd'hui, des contraintes hydriques fortes et que certains pays seront bientôt en situation de pénurie. Les **tensions locales** sont souvent beaucoup plus fortes que ne l'indiquent les indices nationaux. Les pays où les prélèvements pour irrigations représentent plus de 50 % de l'ensemble des prélèvements sont les suivants : Mexique, Japon, Grèce, Corée, Nouvelle-Zélande, Espagne et Turquie. Les irrigations conduisent dans de nombreux pays à un **déséquilibre de la gestion globale des ressources en eau et à de nombreux conflits d'usage**.

La préservation de la qualité des ressources est l'autre critère à l'aune duquel peut être jugée la pression des usages, la dégradation de la ressource devant être considérée comme une consommation. Les techniques de traitement des eaux permettent de faire face aux principaux problèmes de pollution pour la satisfaction des besoins humains. Mais ces techniques nécessitent des installations complexes avec un personnel spécialisé qui renchérit rapidement le prix de l'eau et qui concourt à creuser les inégalités entre pays riches et pauvres.

Les pressions quantitative et qualitative des usages sont étroitement liées. L'assèchement est un facteur de dégradation important de la qualité des eaux. A ce titre, les irrigations ont un impact majeur sur la qualité des eaux par les effets de réduction des débits en rivière en période d'étiage.

Agriculture et pêche sont éminemment liées à la question de l'eau, l'une contribuant à de nombreux problèmes de pollutions des eaux, l'autre concourant à l'érosion des ressources halieutiques.

L'air et l'atmosphère

❖ Les changements climatiques

Mis à part pour quelques climato-sceptiques, la question des changements climatiques est aujourd'hui largement acceptée. Le GIEC a démontré que le carbone déstocké de la lithosphère et rejeté sans compter dans l'atmosphère a pour conséquence une augmentation des températures et des phénomènes météorologiques extrêmes. Les changements climatiques constituent la première question à solidarité obligatoire de l'histoire humaine et nécessitent que tous les pays progressent afin d'améliorer les conditions de vie de leur population vers une nouvelle forme de développement à bas niveau de carbone.

❖ Les polluants persistants

Les polémiques concernant la qualité de l'air urbain et la nocivité des particules fines émises par les moteurs diesel devraient disparaître avec la mise en œuvre de technologies basées sur l'usage des énergies renouvelables.

Si ce n'est la question de la surveillance de l'usage des hydrofluorocarbures (HFC) dans les pompes à chaleur, notamment leur recyclage en fin de vie des équipements, **les énergies renouvelables et la maîtrise de l'énergie ne posent pas de problèmes de controverses concernant leur impact sur la qualité de l'air**. Certaines installations de géothermie de haute température, lorsque la qualité des fluides les nécessite, doivent cependant mettre en œuvre des techniques de traitement des émissions de SO₂ ou de radon.

Agriculture et ressources alimentaires

Le modèle agro-industriel, gros consommateur d'intrants et d'énergie, atteint actuellement ses limites. L'environnement et les ressources naturelles ont payé un lourd tribut à la révolution

« verte » : impacts de la chimie sur l'eau, les sols, l'air, la faune et la flore, appauvrissement des sols, perte de biodiversité, pression très forte sur les ressources en eau (pour l'irrigation), en minerais (potasse, phosphates), en énergie (dépendance aux hydrocarbures). Par ailleurs, famines et crises alimentaires n'ont toujours pas été endiguées dans le monde. **Pour nourrir convenablement les 9 milliards d'habitants sur la planète à l'horizon 2050, ce modèle devra évoluer, de façon à concilier productivité, préservation des ressources, et l'avenir de paysanneries de plus en plus fragilisées, dans un contexte économique très inégalitaire.** Une demande alimentaire augmentée de +70%, comme le prévoient certains scénarios, signifierait ainsi une **pression encore plus forte sur les terres disponibles, les ressources en eau, la déforestation**, alors même que la demande en agrocarburants, en écomatériaux végétaux, ou en chimie « verte » s'accroît également. Cette pression accrue ne serait pas soutenable pour l'équilibre de la planète.

❖ Ressources alimentaires

Des tendances lourdes sont observées, et sont encore marquées par d'importantes incertitudes : la **transition nutritionnelle** de nombreux pays vers des régimes alimentaires plus carnés, la qualité et quantité de **sols disponibles** largement touchés par l'érosion, la désertification, le compactage, la baisse de qualité organique, voire la salinisation et la pollution aux métaux lourds dans certaines régions, **l'intensification de l'élevage, les accaparements de terres, les potentiels de gains de rendement à l'horizon 2050.**

La généralisation des pratiques d'intensification écologique de l'agriculture est complexe : pour valoriser le potentiel des écosystèmes il faut faire du sur-mesure, chaque région ayant ses particularités.

Une opportunité se dégage néanmoins progressivement : après les plans d'ajustement structurel et la vague de libéralisation des échanges initiés à la fin des années 80, il semble y avoir aujourd'hui consensus pour que des politiques publiques fortes accompagnent et structurent les agricultures régionales, susceptibles à la fois de nourrir les populations à un prix abordable et de fournir aux producteurs un revenu décent.

❖ Agriculture, biodiversité et climat

Outre les phénomènes liés à l'urbanisation et à l'impact des activités économiques sur la biodiversité, **l'agriculture participe elle-même de la réduction de la diversité biologique** à divers titres : réduction du nombre de plantes cultivées, monoculture, réduction du nombre de variétés, déforestation (dans certaines régions du monde), disparition des habitats des oiseaux et des espèces, effets de certains pesticides sur les insectes pollinisateurs... A contrario, elle est aussi partie de la solution pour participer au retour des espèces, à la diversité des paysages écologiques, et à la gestion durable des écosystèmes naturels, sous réserve que les pratiques agricoles évoluent vers des modèles intensivement écologiques cette fois-ci. De la même manière, la gestion de l'humus et la mise en culture de terres arables revêtent une importance décisive pour la préservation du climat.

❖ Biotechnologies et droits de propriété

L'application des biotechnologies modernes en agriculture, notamment l'utilisation des plantes génétiquement modifiées, est très controversée. On craint en particulier que les instruments en place relatifs aux droits de propriété intellectuelle n'entraînent à terme la conservation des semences ainsi que l'échange, la vente et l'accès aux matériaux brevetés dont les chercheurs indépendants ont besoin pour effectuer leurs analyses et expériences sur les impacts.

❖ Les productions non alimentaires

Bioénergie et biocarburants font également controverses, en tant que concurrents potentiels à la production de ressources alimentaires. Les aspects économiques de la bioénergie et ses externalités sociales et environnementales, tant positives que négatives, dépendent de la source de biomasse, du type de technologie de conversion et des circonstances locales.

Les procédés de la chimie du végétal offrent une alternative plus respectueuse de l'environnement et de la santé, en émettant entre 20 % et 30 % de gaz à effet de serre en moins que la chimie classique. Mais à l'instar des agrocarburants, la montée en puissance de la chimie du végétal ne va-t-elle pas créer un conflit d'usage avec des terres agricoles ?

Etat des lieux prospectif

Chapitre 1 : La Biodiversité

L'émergence d'une conception malthusienne de la nature se situe au XVIII^e et XIX^e siècles, période à laquelle un nouveau rapport à la nature apparaît avec la découverte de nouvelles terres, de nouveaux paysages, qui témoignent d'une richesse végétale et animale grandiose. Cette vision est fortement empreinte du discours théologique de l'époque, dont le porte parole Jean-Jacques Rousseau (1712-1778) illustre avec acuité la vision d'un état originel mythique dans lequel l'homme aurait entretenu des rapports harmonieux avec la « mère nature », perçue comme le lieu des permanences et des équilibres. Linné (1707-1778), connu comme le père de la taxinomie et de l'écologie modernes développe cette notion d'équilibre en envisageant une « économie de la nature », perçue comme création divine ordonnée et rationnelle où rien n'est laissé au hasard. Le XIX^e siècle voit également l'avènement de l'idée selon laquelle les hommes sont les grands responsables de la dégradation de l'état de nature originel. Ces deux idées phares de l'équilibre de la nature et de l'Homme prédateur, agent de sa dégradation, sont à l'origine du mouvement de protection de la nature qui se développe au XIX^e siècle en Angleterre et aux Etats-Unis notamment.

L'idée de la limitation des ressources a cependant mis du temps à s'imposer et ne se diffuse dans le grand public qu'avec la publication du rapport du Club de Rome en 1972, *The limits to growth _ Halte à la croissance !* Les images satellitaires de la Terre à cette époque ou encore des grandes espèces mammifères menacées ont vraisemblablement contribué à jouer un grand rôle pour fixer dans l'imaginaire collectif l'image d'une planète singulière dans le système solaire et donc fragile. Une perception du vivant et de la nature qui s'est complètement modifiée en l'espace d'un siècle et demi : la nature hostile et dangereuse est devenue un objet de menace et de dégradation pour l'Homme : « c'est lui aujourd'hui LE prédateur et LA menace pour l'environnement, et aussi pour son propre avenir »⁵. La marque de l'Homme sur la nature ne se limite pas à la sphère biologique, elle est de nature quasi-tellurique, au point que certains auteurs n'hésitent pas à considérer la période actuelle comme une nouvelle ère géologique, cette fois-ci marquée par l'activité humaine: « l'anthropocene ».

Définition et enjeux

Définition

Le concept de biodiversité a été consacré lors de la Conférence de Rio en 1992, avec l'adoption de la **Convention pour la diversité biologique** ⁶(CDB), au sein de laquelle la biodiversité est définie comme :

« La pluralité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes » (article 2).

⁵ In Gilles Bœuf, Op. Cit., p. 70

⁶ <http://www.cbd.int/>

La complexité de la définition⁷ de la biodiversité repose notamment sur les périmètres du concept : diversité génétique au sein d'une même espèce, diversité des espèces, diversité fonctionnelle ou écosystémique des relations entre les diversités précédemment citées et des écosystèmes... A partir de cette approche, différents champs de recherche et d'action sont envisageables⁸ :

- **L'étude des mécanismes biologiques de genèse de la diversité naturelle** : il s'agit d'expliquer la diversité des espèces et de mettre à jour leurs spécificités, afin d'avoir une meilleure appréhension de l'évolution et des mécanismes de spéciation.
- **L'écologie fonctionnelle, la biocomplexité et la biogéochimie** : les approches récentes proposent une analyse systémique complexe de la biodiversité, via par exemple l'étude des flux de matière et d'énergies.
- **L'étude de la nature « utile »** : pour les ressources génétiques, alimentaires, cosmétiques, pharmacologiques qu'elle fournit.
- **L'élaboration de stratégies de conservation pour préserver le patrimoine naturel** : ce volet constitue une priorité scientifique (comprendre sa genèse, ses fonctions et enrayer son érosion), face à l'importance de parvenir à une estimation objective de la diversité spécifique. Mais les scientifiques rencontrent de grandes difficultés pratiques à estimer, recenser et décrire la biodiversité.

Soulignons tout de même, que selon les recensements actuels, les **hotspots** (cf. figure 1) et **megadivers** concentrent quasiment **70% de la biodiversité mondiale** ; ces zones sont situées pour la plupart dans des régions connaissant un taux de croissance démographique relativement élevé ainsi que des difficultés politiques et socioéconomiques.

Figure 1 : Répartition des hotspots de la biodiversité dans le monde



Source : <http://www.biodiversityhotspots.org>

Le terme « Hot spot » désigne les régions qui répondent à deux critères stricts : elles contiennent au moins 1500 espèces de plantes vasculaires endémiques (plus de 0,5% du total mondial), et ont perdu au moins 70% de leur

⁷ Une définition plus complète du concept de biodiversité est proposée en annexe 2.

⁸ Gilles Bœuf⁸, « Quel avenir pour la biodiversité ? » in *Un monde meilleur pour tous*, éditions Odile Jacob, janvier 2008. Il reprend les travaux de Lévêque et Mounolou, *Biodiversité. Dynamique biologique et conservation*, Paris, Dunod, 2001.

* Les termes suivis d'une étoile font l'objet d'une définition dans le glossaire en fin de rapport.

habitat naturel. Ces hauts lieux de biodiversité menacés représentent la moitié des espèces recensées à ce jour. Le recensement des hotspots guide l'intervention prioritaire des ONG internationales de conservation.

La notion de biodiversité introduit deux nouvelles dimensions : une **dimension dynamique**, avec les phénomènes d'émergences, les variabilités et instabilités; et une **dimension historique**, avec une vision de long voire très long termes. Là où l'on recherche les équilibres, cette double dimension met en avant **l'accélération** des changements et des atteintes à la biodiversité, et questionnent sa résilience*, son adaptabilité*. L'étude de la biodiversité exige un croisement des regards entre les sciences du vivant et les sciences de l'homme, entre écologues, généticiens, paléontologues, économistes et sociologues. Longtemps dominée par les sciences du vivant, l'étude de la biodiversité s'enrichit et intègre les acteurs et leurs pratiques, les territoires et leurs enjeux, les perceptions et les représentations de la nature.

Enfin, la notion de biodiversité implique tous les acteurs de la société. Des actes et dispositifs de gestion et de protection existent au niveau local comme au niveau international : **Etats et Gouvernements**, parlementaires nationaux et européens, ONG internationales, communautés scientifiques, organisations socioprofessionnelles, organisations syndicales, acteurs locaux, qu'ils soient élus, associatifs, socioprofessionnels, acteurs culturels, consommateurs/citoyens. Sur la scène internationale, le groupe des peuples autochtones est particulièrement visible. Certains pays, notamment d'Amérique Latine, entendent défendre un autre rapport à la nature, moins anthropocentré, fondé sur une reconnaissance du droit de la Terre mère, s'opposant au terme même de biodiversité traitée comme ressource vivante exploitable. Les peuples autochtones ne représentent que 6% de l'humanité (370 millions de personnes dans le monde), mais défendent le fait qu'ils font vivre plus de 50% des plantes sauvages et de la vie animale dans les forêts et les savanes.

Une gestion plurielle de la biodiversité

❖ Au niveau international

La pluralité et la diversité des acteurs ainsi que des niveaux de décision façonnent tous les débats au sein de la Convention sur la diversité biologique (CDB) et dans des enceintes plus large comme les Sommets de la Terre. La **CDB** a établi en avril 2002 un plan stratégique dont l'objectif principal était de ralentir le rythme de l'érosion de la biodiversité d'ici 2010. L'adoption de la CDB marque l'instauration des premières règles internationales concernant les droits d'accès et de propriété sur les ressources génétiques et écologiques. En fait plusieurs accords internationaux ont vu le jour depuis les années 70 pour essayer de limiter le déclin des populations menacées, un certain nombre de recensements, règles et recommandations ont été mis en œuvre : la **Convention de Washington (1973)**⁹, la **Convention de Berne (1979)**¹⁰, la **Convention de Bonn (1979)**¹¹... En 2007, 110 000 sites environ, soit 18 000 000 km² sont protégés dans le monde et ce par un ensemble de grandes organisations internationales. La **liste rouge de l'Union internationale de Conservation de la Nature (UICN)** recense quant à elle l'ensemble des espèces en danger, en voie d'extinction ou disparues dans le monde. Des lois internationales empêchent leur chasse, leur cueillette et leur commerce.

⁹ La Convention de Washington (1973) régleme le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction.

¹⁰ Relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe, la Convention de Berne (1979) concerne notamment la mise en défends dans des réserves naturelles, la culture en jardin botanique ou arboretum, l'élevage en zoo.

¹¹ La Convention de Bonn (1979) porte sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage et vise à leur protection.

❖ En France

La France, quant à elle, compte grâce à ses territoires d'Outre-mer un patrimoine naturel important : elle est placée au 4^e rang mondial pour sa biodiversité.

Au niveau national, l'Etat a défini différentes politiques de protection de l'environnement. Ces textes juridiques (lois et règlements) sont regroupés dans le **Code de l'environnement**. Ils imposent un respect des écosystèmes, limitent les impacts des industries et des particuliers sur l'environnement et la modification des espaces naturels. En 2008, plus de 12 % de sa surface était protégée par 45 parcs naturels régionaux, 9 parcs nationaux, 600 arrêtés de biotope et plus 100 000 hectares de littoraux appartenant au Conservatoire du littoral, et, le réseau européen Natura 2000 de protection des milieux concernait plus de 6,8 millions d'hectares. Et ces chiffres sont en constante augmentation.

La France applique également des **directives provenant de l'Union européenne**, notamment en matière de réseaux écologiques (Directive Habitats et Oiseaux), de chasse et de pêche ; par ailleurs, la Directive cadre sur l'eau (DCE) définit un ensemble de mesures visant à améliorer la qualité des cours d'eau européens d'ici 2015. Au-delà de ces directives spécifiques, l'Union européenne n'a cependant pas d'approche intégrée de la biodiversité.

Adoptée en 2011, la **Stratégie nationale pour la biodiversité (SNB)** est la concrétisation de l'engagement français au titre de la CDB. Elle constitue le volet biodiversité de la Stratégie nationale de développement durable. Elle a pour objectif de « *préserver et restaurer, renforcer et valoriser la biodiversité, en assurer l'usage durable et équitable, réussir pour cela l'implication de tous et de tous les secteurs d'activité* ». ¹²

Plus récemment, **la loi Grenelle 2** promulguée le 12 juillet 2010 précise les modalités d'application et de territorialisation du Grenelle de l'Environnement. Le titre IV du Grenelle 2 sur la protection de la biodiversité propose des mesures destinées à enrayer les différentes atteintes possibles aux milieux terrestres et marins, aux espèces et aux habitats et a des implications sur l'aménagement du territoire comme sur la gestion des ressources naturelles et l'exercice des activités économiques et notamment agricoles.

La **Conférence environnementale** qui s'est déroulée en septembre 2012 a lancé la préparation d'une loi cadre « Biodiversité », prévoyant notamment l'institution d'une agence nationale dédiée, l'inscription dans la loi d'un dispositif juridique d'accès aux ressources et de partage des avantages (APA), ou encore la création d'un observatoire national du foncier agricole.

Au niveau des territoires, différentes structures spécifiques (syndicats de gestion, mairies, DREAL¹³ et DDT¹⁴, mais également associations...) interviennent à des niveaux divers dans la gestion de

¹² Six orientations stratégiques réparties en vingt objectifs y sont définis (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Presentation-generale-de-la.html>):

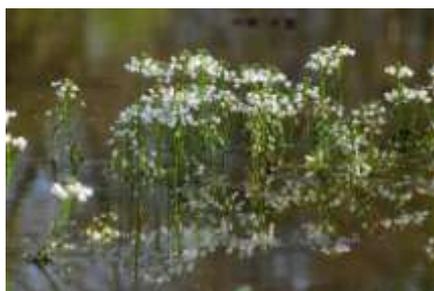
A. Susciter l'envie d'agir pour la biodiversité ; B. Préserver le vivant et sa capacité à évoluer ; C. Investir dans un bien commun, le capital écologique ; D. Assurer un usage durable et équitable de la biodiversité ; E. Assurer la cohérence des politiques et l'efficacité de l'action ; F. Développer, partager, valoriser les connaissances

¹³ Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement.

¹⁴ Directions Départementales de l'Équipement et de l'Agriculture.

l'environnement et contrôlent l'application des réglementations en matière environnementale (arrêtés préfectoraux...). D'autres actions ciblées du type **agenda 21 local**, portées par les collectivités territoriales contribuent également au maintien de la biodiversité.

Parmi les mesures phares du Grenelle de l'environnement, **la trame verte et la trame bleue** (TVB) régies par les articles L.371-1 et suivants du code de l'environnement constituent un nouvel outil au service de l'aménagement durable des territoires. La TVB vise à identifier ou à restaurer d'ici 2012 un réseau écologique, cohérent et fonctionnel sur le territoire, permettant aux espèces animales et végétales de communiquer, circuler, s'alimenter, se reproduire et se reposer, afin que leur survie soit garantie : des « réservoirs de biodiversité » seront reliés par des corridors écologiques intégrant des milieux terrestres (trame verte) et aquatiques (trame bleue)¹⁵.



Les enjeux soulevés par la biodiversité

La biodiversité soulève un certain nombre d'enjeux qui impliquent des questionnements et justifications très diverses. On peut notamment évoquer :

- **Un enjeu social et sanitaire** : quel accès aux ressources et aux avantages procurés par la biodiversité ? L'intérêt social et sanitaire de la préservation de la biodiversité appelle à des arguments biologiques ou écologiques.
- **Un enjeu économique** : comment valoriser et partager les ressources biologiques et génétiques ? Cette perspective convoque des arguments économiques.
- **Un enjeu éthique** : quel droit à la vie des espèces ? Quelle modification génétique ? Les raisonnements doivent intégrer des arguments d'ordre éthique ou culturel.

Il faut souligner que les trois approches sont complémentaires et étroitement liées. Les arguments de type économique sont nécessairement corrélatifs de choix de société, donc de valeurs morales ou culturelles. De fait, les approches économiques modernes du problème intègrent ces trois dimensions de la biodiversité pour tenter d'en faire une évaluation pertinente (cf. partie sur l'évaluation économique de la biodiversité).

Poser les définitions et les enjeux de la biodiversité était nécessaire, chacun pouvant projeter dans ce mot « valise » ses représentations du monde vivant et de la nature, en fonction de sa culture, de son expérience, de ses besoins ou de son intérêt immédiat.

¹⁵ Sa cartographie est intégrée sans le Schéma Régional de Cohérence Ecologique (SRCE) élaboré conjointement par L'État et la Région et devant être prise en compte par le SCoT et le PLU en application du L 371-3 du code de l'environnement).

Le **Global Biodiversity Outlook**¹⁶ (Perspectives de la biodiversité mondiale, mai 2010), publication phare de la Convention sur la diversité biologique, présentait l'évolution de l'appauvrissement de la biodiversité :

« L'objectif fixé par les gouvernements du monde entier, en 2002, de parvenir, d'ici à 2010, à une réduction importante du rythme actuel d'appauvrissement de la diversité biologique aux niveaux mondial, régional et national, à titre de contribution à l'atténuation de la pauvreté et au profit de toutes les formes de vie sur Terre n'a pas été atteint. De multiples signes indiquent que le déclin de la diversité biologique se poursuit et ce, au niveau de chacune de ses trois principales composantes — les gènes, les espèces et les écosystèmes —, notamment :

Les espèces dont le risque d'extinction a été évalué se sont globalement rapprochées des catégories les plus à risque. Les amphibiens sont exposés aux risques d'extinction les plus élevés et les espèces coralliennes sont celles qui souffrent du processus de détérioration le plus rapide. On estime que près d'un quart des espèces végétales sont menacées d'extinction.

En moyenne, les espèces ayant fait l'objet d'évaluation parmi les vertébrés ont souffert d'un déclin d'un tiers entre 1970 et 2006 ; ce qui est symptomatique d'une tendance à l'échelle mondiale, avec des déclin particulièrement importants dans les régions tropicales et parmi les espèces dulçaquicoles (vivant et se reproduisant en eau douce).

L'étendue et l'intégrité des habitats naturels de la plupart des régions du monde ne cessent de diminuer. Les zones humides continentales, les habitats de glace de mer, les marais salants, les récifs coralliens, les herbiers marins et les récifs de coquillages sont tout particulièrement touchés.

Le morcellement et la dégradation des forêts, des rivières ainsi que d'autres écosystèmes ont provoqué une érosion de la diversité biologique et une diminution de la qualité des services écosystémiques.

La diversité génétique des cultures et des animaux d'élevage des agrosystèmes diminue également.

Les cinq principales pressions d'origine anthropique contribuant directement à l'érosion de la diversité biologique (modification des habitats, surexploitation, pollution, introduction d'espèces exotiques envahissantes et changements climatiques) sont restées constantes ou ont vu leur intensité augmenter.

L'empreinte écologique de l'humanité dépasse la capacité biologique de la terre de manière plus importante que lors de l'acceptation de l'Objectif 2010 pour la biodiversité. »¹⁷

Le rythme exact de l'érosion de la biodiversité ne peut être déterminé avec précision, tant nos connaissances sont encore lacunaires¹⁸. La première raison est que l'on s'est concentré jusqu'à présent essentiellement sur les espèces et très peu intéressé aux écosystèmes, et moins encore aux gènes. La seconde raison est que notre connaissance actuelle du monde vivant (qui est infini) reste extrêmement partielle. Or, le constat d'une diminution du nombre d'espèces ne peut se faire que par rapport à un état des lieux donné. **Différentes fourchettes sont avancées concernant l'extinction de certaines espèces étudiées et les modifications prévisibles des écosystèmes, selon des rythmes plus ou moins rapides et selon les prochaines évolutions à anticiper telles que les changements**

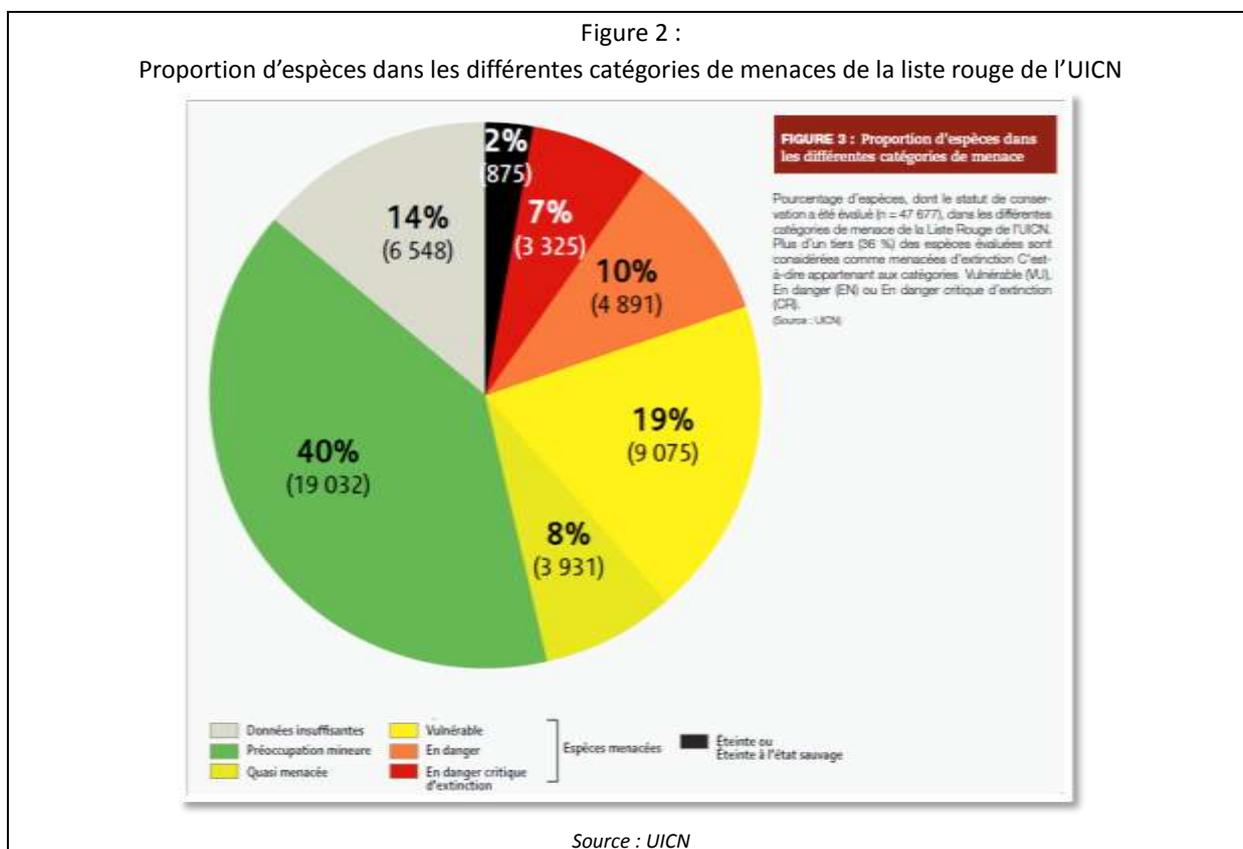
¹⁶ Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique (2010) 3^{ème} édition des *Perspectives mondiales de la diversité biologique*. Montréal, 94 pages. Le rapport est fondé sur des sources d'informations variées (rapports nationaux, indicateurs de biodiversité, littérature scientifique, etc.) et basé sur une évaluation de scénarios d'évolution de la biodiversité. Cette troisième édition du rapport GBO-3 dresse un récapitulatif des informations récentes sur l'état et les tendances de la biodiversité et tire un certain nombre de conclusions pour la future stratégie que devra mettre en place la Convention. Les éléments présentés ci-dessous en sont directement extraits.

¹⁷ GBO 3, résumé analytique.

¹⁸ Elles le sont au moins pour deux raisons. La première est que l'on s'est concentré jusqu'à présent essentiellement sur les espèces, et très peu intéressé aux écosystèmes, et moins encore aux gènes. La seconde raison est que notre connaissance actuelle du monde vivant reste extrêmement partielle. Or, le constat d'une diminution du nombre d'espèces ne peut se faire que par rapport à un état des lieux donné.

climatiques. L'évolution démographique globale et le développement des activités humaines modifient complètement les taux naturels d'extinction attendus. Mais un trait se dégage: ces scénarios « sont tous alarmistes »¹⁹ !

Pour traduire l'amélioration ou la dégradation de la biodiversité, l'UICN a établi à partir de ses listes rouges un indicateur - l'**Indice Liste rouge**²⁰ (ILR). Il est construit à l'aide du nombre d'espèces au sein de chaque catégorie de l'UICN et du nombre d'espèces ayant changé de catégorie. Cet indice montre que l'état de la biodiversité n'a cessé de se dégrader depuis les années 1950. A titre, d'exemple, le rapport réalisé sur les mammifères en France²¹ met l'accent sur deux espèces en danger critique d'extinction : le rhinolophe de Méhely et l'ours brun ainsi que sur trois espèces en danger : le grand hamster, le vison d'Europe, ou encore le lynx boréal. **Au total, onze espèces sur les 119 recensées pourraient disparaître du territoire français. Ces espèces sont particulièrement menacées en raison de l'urbanisation intensive de leurs milieux naturels. Ce phénomène a pour conséquence de détruire leurs habitats et de rendre rare leur nourriture.**



Sommes-nous en train d'assister à une sixième crise d'extinction des espèces dans l'histoire de la vie sur Terre ? Une extinction qui serait, de manière inédite, due à l'activité anthropique ? Le débat est engagé.

¹⁹ In Gilles Bœuf, *Op. Cit.* p. 69

²⁰ La liste rouge établie pour la France est consultable au lien suivant : <http://www.uicn.fr/Liste-rouge-France.html>

²¹ UICN France, MNHN, SFPEM & ONCFS (2009). La Liste rouge des espèces menacées en France - Chapitre Mammifères de France métropolitaine. Paris, France.

Christian Lévêque, directeur de recherches émérite à l'Institut de recherche sur le développement (IRD), préfère rester prudent : « *Nous sommes bien loin d'avoir fait l'inventaire de la biodiversité, et les chiffres quelquefois avancés pour quantifier l'érosion de la biodiversité n'ont qu'une valeur anecdotique sur le plan scientifique tant les méthodes utilisées sont rudimentaires. (...) Dans ce contexte, parler de manière globale de sixième extinction relève plus d'un mode de communication que d'un fait scientifique. La réalité de l'érosion, évidente pour certains groupes, reste en effet à démontrer pour d'autres* »²².

Mais à l'instar d'une partie grandissante de ses collègues, Edward Wilson, entomologiste et biologiste, préfère passer outre les incertitudes. Il le dit haut et fort : « *Tous les biologistes qui travaillent sur la biodiversité s'accordent à dire que, si nous continuons à détruire certains environnements naturels, à la fin du 21^{ème} siècle nous aurons éliminé la moitié ou davantage des plantes et animaux de la planète.* »²³

Plus radicalement, ETC Group²⁴, ONG canadienne spécialisée sur les questions de développement durable, annonce que 75% de la biodiversité agricole a déjà disparu. « *Nous perdons chaque année 2% de la diversité des espèces végétales cultivées et 5% de la diversité des espèces animales élevées. On aura beau tenter de mettre un frein à l'extraordinaire flambée des prix alimentaires, on n'en reviendra sans doute jamais aux prix bas de la fin du 20^e siècle. La pression sur les terres arables pour la production de biocarburants, la spéculation sur les matières premières, la demande grandissante, la pénurie d'eau et surtout le chaos climatique garantissent que notre approvisionnement alimentaire demeurera aussi erratique que coûteux. (...) La notion de terre marginale²⁵ est un non-sens. Les marais d'eau saumâtre des États-Unis représentent 20% de la capacité de séquestration du carbone de ce pays. La séquestration mondiale de carbone dans les habitats côtiers est à peu près équivalente aux taux d'émission de gaz à effet de serre du Japon. Les forêts prétendument « sous-exploitées » et les savanes jouent un rôle primordial dans la lutte contre le réchauffement climatique. Les deux tiers des écosystèmes mondiaux sont menacés d'effondrement.* »²⁶

Les indicateurs de mesure de la biodiversité

Face à nombreuses inconnues évoquées plus haut quant à la connaissance de la biodiversité, il est particulièrement difficile de mesurer le capital naturel²⁷. En effet, qui peut ou doit juger de son exploitation et de sa surexploitation (c'est à dire l'atteinte aux capacités de régénération) ? Il n'est pas évident de s'entendre sur la définition de *seuils d'alerte* ni même de mesurer la *résilience* des écosystèmes ou le degré de *réversibilité* des atteintes.

²² Lévêque C., 2010. « Recherche et développement durable : l'utopie d'une approche systémique ? » in Villalba B. (ed.), 2010. *Appropriations du développement durable. Emergences, diffusions, traductions*, Presses Universitaires du Septentrion, Villeneuve d'Ascq, pp. 123-144.

²³ Wilson E.O., 2007. Interview in *La recherche*, juillet-octobre 2007.

URL citation : http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbiodiv/index.php?pid=decouv_chapA&zoom_id=zoom_a1_1

²⁴ <http://www.etcgroup.org>

²⁵ Il s'agit de terres qui ne sont pas adaptées, économiquement intéressantes ou productives dans la plupart des circonstances, pour un type d'utilisation donné : agriculture, foresterie, pâturage intensif, [aquaculture](#) d'[algues](#). Et ce en raison de contraintes [climatiques](#), [pédologiques](#) ou [géographiques](#).

²⁶ *Nouvelles technologies en Afrique : une menace pour la souveraineté*, Pambazuka News et ETC Group, octobre 2010

²⁷ Le capital naturel fait référence aux ressources (minéraux, plantes, animaux, air, pétrole de la biosphère terrestre) en tant que moyen de production d'oxygène, de filtration de l'eau, de prévention de l'érosion, ou comme fournisseur d'autres services naturels. Il constitue une approche d'estimation de la valeur d'un écosystème.

Aujourd'hui les indicateurs les plus utilisés sont les suivants :

- **Indice Planète Vivante WWF** : Cet indicateur mesure l'état de 1686 espèces de vertébrés à travers 5000 populations dans le monde. Il reflète l'état des écosystèmes de la planète. Ces 35 dernières années l'indice a perdu 30%.
- **Liste Rouge UICN** : Cette liste des espèces en danger d'extinction est remise à jour régulièrement, elle existe au niveau international, national voire régional (cf. graphique ci-dessus).
- **Empreinte Ecologique**²⁸ : Elle mesure la demande de l'humanité vis à vis de la biosphère en termes de « surfaces biologiquement productives de terre et de mer » nécessaires pour fournir les ressources que nous utilisons et absorber les déchets que nous produisons. Elle se calcule par pays. En moyenne, au niveau mondial, la demande par personne en 2005 a été de 2,7 hectares.
- **Biocapacité** : Elle se calcule par pays en multipliant les surfaces de terre et de mer productives par leur bioproduction, chaque pays disposant d'une offre disponible. Le gain de productivité se fait souvent au prix d'une plus grande utilisation de ressources ou d'une augmentation de déchets produits. En moyenne, au niveau mondial, chaque homme disposait, en 2005, de 2,1 hectares.
- **Empreinte eau** : Ce nouvel indicateur permet de connaître, par pays, la quantité d'eau nécessaire aux activités de productions et aux consommations. De nombreux pays par l'importation massive de produits externalisent leur déficit hydrique.
- **Espace écologique** : La notion d'espace écologique a été proposée par les Amis de la Terre en 1995 dans un rapport sur l'Europe solidaire. Le principe d'égalité d'accès aux ressources implique, pour chaque type de ressource, la définition d'un seuil minimal ainsi que d'un plafond maximal de consommation qui prend en compte la capacité de régénération des ressources renouvelables et le stock de ressources non renouvelables. La quantité d'énergie, d'eau, de territoire, de matières premières non renouvelables et de bois qui peut être utilisée d'une manière soutenable est ainsi appelée « espace écologique ».

L'origine de l'érosion de la biodiversité

Locaux ou globaux, les facteurs actuels de perte de biodiversité sont essentiellement liés aux activités humaines²⁹. Les cinq principales pressions contribuant directement à l'érosion de la diversité biologique sont³⁰ : **la modification des habitats, la surexploitation, les pollutions, locales et globales (pollution des nappes phréatiques, des mers et océans ; rejets industriels...), les espèces exotiques envahissantes, les changements climatiques.**

La figure ci-dessous récapitule les différentes actions directes et indirectes exercées par l'homme. Les facteurs fondamentaux sont **l'augmentation de la population**, qui aura été multipliée par 10 en l'espace de trois siècles et la **consommation croissante de ressources et d'espaces** : 40% des terres aujourd'hui transformées, plus de la moitié de la ressource en eau utilisée (cf. Chapitre 4, sur les

²⁸ <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/>

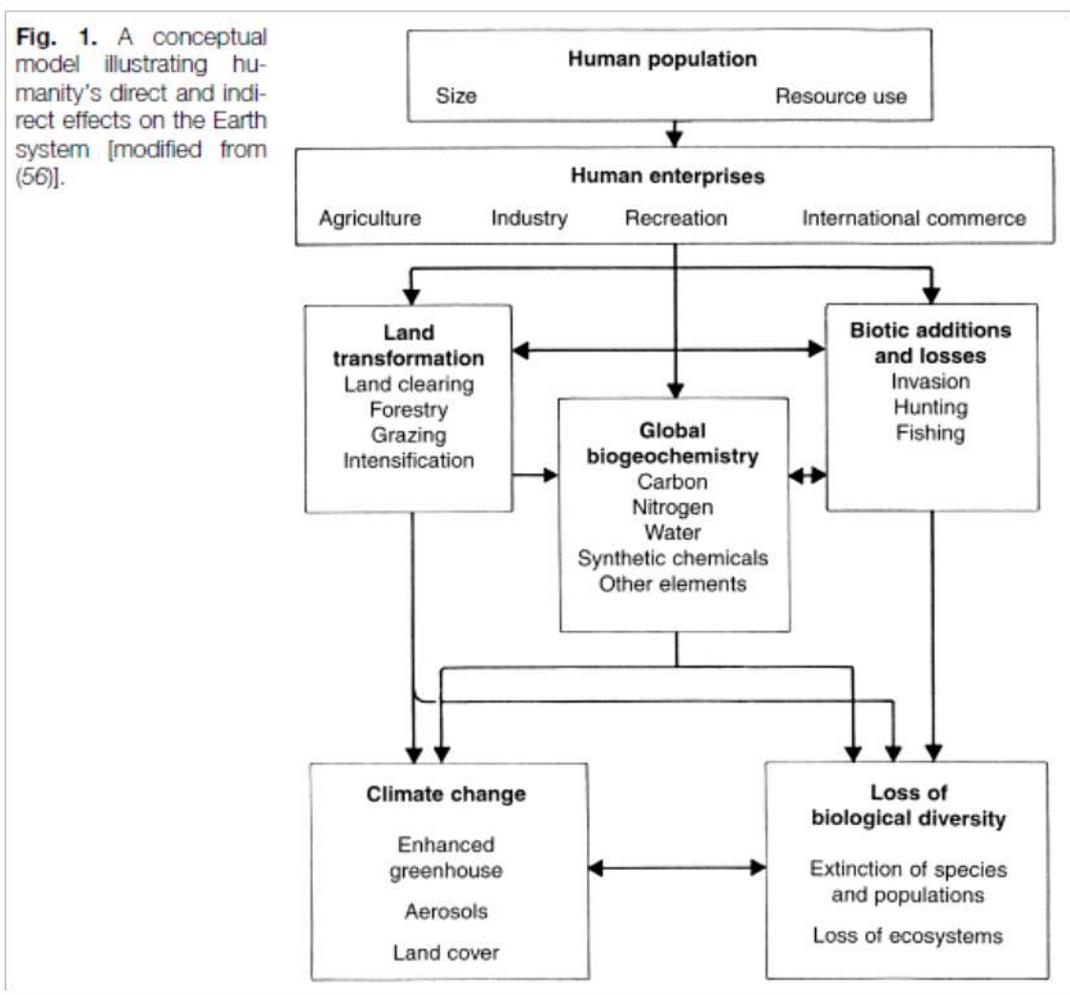
²⁹ Selon le rapport Global Biodiversity Outlook 3. Ces cinq causes principales de l'érosion de la biodiversité avaient précédemment été exprimées dans des termes similaires pour le groupe de scientifiques du Millennium Ecosystem Assessment en 2005. MEA Board – Millennium Ecosystem Assessment Board, 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis*, World Resources Institute, Washington D.C.

³⁰ Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2010, 96 p.

ressources naturelles), une urbanisation³¹ rapide multipliée par 10 depuis le début du siècle, des ressources en énergies fossiles largement consommées. Les **impacts négatifs des changements climatiques sur la nature et les écosystèmes** sont considérables et ne cesseront de s'amplifier. Deux menaces pour la biodiversité se renforceront particulièrement au cours des 50 prochaines années : **l'intensification agricole** et **le changement climatique**. Or, ces deux phénomènes sont déjà les principaux facteurs d'érosion de la biodiversité aujourd'hui.

L'homme pourrait ainsi changer plus vite la Terre qu'il ne la comprend et ne la découvre, comme le concluent l'écologiste Peter Vitousek et ses collaborateurs dans un article paru en 1997, analysant la domination des humains sur les écosystèmes³².

Figure 3 : L'impact des activités humaines sur l'environnement



Source: Science 277, 494 (1997); Peter M. Vitousek, et al., Human Domination of Earth's Ecosystems.

Ce modèle conceptuel illustre les effets directs et indirects des activités humaines sur le système Terre

³¹ En 2008, la population mondiale est pour la première fois à 50% urbaine.

³² Human Domination of Earth's Ecosystems, Vitousek, P.M., H.A. Mooney, J. Lubchenco and J.M. Melillo. Human domination of Earth's ecosystems. Science 277: 494-499.

Même s'il manque encore des données fiables et que de nombreuses incertitudes subsistent quant à la vitesse d'érosion et à son accélération, aux impacts variés selon les groupes vivants et les milieux, **la certitude que l'homme a induit une grande majorité de ces détériorations est avérée** : l'introduction d'espèces invasives a détruit certains écosystèmes (à l'instar de la Perche du Nil dans les grands lacs africains)³³. La destruction des sols et des systèmes forestiers tropicaux, la surexploitation des ressources marines... Un aspect à ne pas négliger également : l'impact des activités humaines sur les pathologies. La multiplication des interactions entre l'homme et la faune, la propagation de maladies dites émergentes telles que les pestes aviaires constituent un enjeu majeur de santé publique. La propagation et la virulence des agents pathogènes connaissent chez l'homme une ampleur inédite. Gilles Bœuf, président du Muséum national d'histoire naturelle, parle ainsi d'une véritable « *bombe à retardement* » constituée par « *les concentrations gigantesques d'animaux élevés en batteries en univers concentrationnaire et la multiplication des échanges intercontinentaux* »³⁴.

Il existe de nombreuses interactions entre ces différents facteurs, ce qui accélère encore davantage les processus de changements. Ainsi, la surexploitation d'espèces situées en bout de chaîne alimentaire peut inciter à la migration d'espèces prédatrices envahissantes. C'est le cas du crabe royal de Kamtchatka dans la Mer de Barents ; ou de la palourde asiatique, qui aux Etats-Unis a pour effet de réduire la biomasse de plancton et les populations des espèces vivant dans les sédiments... L'invasion biologique se caractérise par l'entrée en compétition avec les espèces indigènes et l'altération du fonctionnement des écosystèmes. Les espèces invasives auront le plus souvent un impact sur la qualité de l'habitat et conduiront indirectement à une plus grande érosion de la biodiversité. La disparition des habitats pèse, par ailleurs, sur les animaux sauvages qui se concentrent sur des aires plus réduites, les rendant ainsi plus fragiles et donc plus vulnérables aux espèces envahissantes. La perturbation des cycles biogéochimiques a ainsi un impact sur la structure et la productivité des écosystèmes, pouvant ainsi mener à une modification de la composition des faunes et flores, de la physiologie, de la démographie et de la génétique des espèces vivantes mais aussi avoir de lourdes conséquences sur la santé et la qualité de vie des communautés.

Les causes de la dégradation de la biodiversité découlent donc de :

- **la négligence humaine, voire de l'agressivité vis-à-vis de la nature ;**
- **l'ignorance sur l'importance de la biodiversité et les insuffisances de politiques publiques de lutte contre l'érosion de la biodiversité ;**
- **la concurrence accrue entre activités du fait de la croissance démographique humaine**

L'évaluation de la biodiversité

Le rythme de disparition actuel des espèces, bien supérieur au rythme auquel nous les découvrons, nous prive, et prive les générations futures, des ressources qui seront peut-être indispensables à leur propre survie, dans un contexte d'accélération des changements globaux et d'incertitudes. Les

³³ Cf. Le cauchemar de Darwin, un exemple parmi d'autres...

³⁴ in Gilles Bœuf, Op. Cit. p.82

travaux théoriques et expérimentaux récents montrent clairement que l'érosion de la biodiversité peut avoir des **conséquences profondes sur la manière dont fonctionne le système Terre et sur le maintien des écosystèmes dont nous dépendons**. La biodiversité peut à la fois accroître certains processus des écosystèmes, tels que leur productivité primaire³⁵ et la rétention des nutriments, et servir d'assurance biologique contre les effets perturbateurs des changements environnementaux. Il en résulte que la biodiversité ne peut plus être ignorée dans les questions touchant au changement global et à l'environnement. Le travail le plus conséquent d'évaluation de la biodiversité mentionné ici est le *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA) ou « Evaluation des écosystèmes pour le Millénaire » (EM)³⁶. Un programme international, lancé par les Nations Unies qui, sur la base d'une approche par les services écosystémiques, a permis d'approfondir considérablement les connaissances et de se projeter dans le futur sur la base de scénarios.

❖ Une connaissance fragmentaire des conséquences de l'érosion de la biodiversité

Bien que ces dernières années aient vu une explosion des connaissances concernant les conséquences potentielles d'une perte de biodiversité sur le fonctionnement des écosystèmes, ces connaissances restent encore très fragmentaires. Les principaux défis qu'il nous faut relever dans les années à venir sont les suivants :

- **élargir les connaissances acquises** sur les processus végétaux dans les prairies tempérées à d'autres organismes (animaux, microorganismes), d'autres niveaux de la chaîne alimentaire (herbivores, prédateurs, décomposeurs) et d'autres écosystèmes (écosystèmes forestiers, tropicaux, d'eau douce et marins) ;
- **comprendre les impacts des changements de biodiversité à de plus grandes échelles spatiales et temporelles en interaction avec d'autres changements d'environnement**, en particulier les changements d'utilisation des terres ;
- **étendre les recherches actuelles au-delà d'une perspective de science fondamentale, pour en aborder les impacts sur les biens et services écologiques dont bénéficient les sociétés humaines**.

Il est nécessaire de développer les recherches sur les conséquences fonctionnelles et sociétales des changements de biodiversité dans un cadre large, incluant les causes et les processus menant à ces changements de biodiversité, ainsi que les stratégies possibles de protection et d'utilisation durable de la biodiversité.

³⁵ La *productivité primaire* désigne la vitesse à laquelle se forme la matière organique, à partir de la matière minérale et d'un apport d'énergie issue de la photosynthèse, par le biais d'organismes autotrophes, dits producteurs primaires. Elle s'exprime en masse de carbone assimilée par unité de temps.

³⁶ Millennium Ecosystem Assessment Board, 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis*, World Resources Institute, Washington D.C.

❖ Une définition des services d'origine écosystémiques

Le *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA) ou « Evaluation des écosystèmes pour le Millénaire » (EM)³⁷ est un programme de travail d'envergure internationale mis en place à la demande du Secrétaire général des Nations Unies, Kofi Annan et qui s'est déroulée entre 2001 et 2005. Il visait à répondre aux besoins des décideurs internationaux en matière d'information scientifique relative aux liens entre changements au niveau des écosystèmes, compris au sens large à savoir milieux, ressources, paysages et trames urbaines et bien-être de l'homme. L'objectif du MEA était **d'évaluer les conséquences de l'évolution des écosystèmes sur le bien-être humain, dans le but d'identifier les actions nécessaires pour une meilleure préservation et utilisation des écosystèmes au service de l'homme**. Tout en reconnaissant que la biodiversité et les écosystèmes possèdent également une valeur intrinsèque, le cadre conceptuel du MEA place le bien-être de l'homme au centre de son processus d'évaluation. Il met ainsi l'accent sur la manière dont les changements au niveau des services d'origine écologiques - provenant des écosystèmes-, ont affecté le bien-être de l'homme, et pourraient dans les décennies à venir. Le MEA met en avant les types de réponses qui pourraient être initiées au niveau local, national, ou mondial pour améliorer la gestion des écosystèmes et contribuer ainsi au bien-être de l'homme et à la réduction de la pauvreté.

La biodiversité influe sur l'être humain d'une manière à la fois positive et négative. L'homme retire de la nature de nombreux *services écologiques* qui sont à l'origine du bon fonctionnement de la planète et de ses écosystèmes et qui permettent la survie de toutes les espèces - dont l'espèce humaine.

Nous pouvons les regrouper en 4 catégories :

- ***l'approvisionnement en matières premières***, grâce à la diversité des espèces (animales et végétales) et de leurs productions ;
- ***le bon fonctionnement des milieux***, grâce à la protection des sols, au cycle des nutriments (carbone, azote...) et au cycle de l'eau, à la diversité des habitats, à la pollinisation et au contrôle des pollutions (épuration de l'air et de l'eau) ;
- ***la protection naturelle des êtres humains et des espèces*** qui leur servent de ressources, à travers la régulation des milieux (naturels ou agricoles) : la diversité en espèces présentes développe la résistance et la capacité d'adaptation aux perturbations de l'environnement (catastrophes naturelles (inondations, tempêtes), maladies, invasions biologiques...). Mais également la régulation de l'atmosphère (dont la production d'oxygène) et des fluctuations du climat, local et global ;
- et enfin ***les biens immatériels***, tels que la connaissance, la culture...

D'une manière générale, la biodiversité est à l'origine de nos ressources économiques (cf. les messages essentiels du MEA en annexe 6).

Cette approche peut être considérée par certains mouvements comme une « marchandisation » de la nature, en opposition à une approche en termes de *biens communs*. Ces deux approches font l'objet d'un développement particulier dans la partie « 1.3. *Quelle gestion durable de la biodiversité ?* ».

³⁷ Millennium Ecosystem Assessment Board, 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis*, World Resources Institute, Washington D.C.

Le constat dressé par le MEA est que près de 60% (15 sur 24) des services écologiques examinés sont utilisés de façon non durable, incluant les eaux douces, les ressources halieutiques, la purification de l'air et de l'eau, la régulation du climat au plan régional et local, les risques naturels et les nuisibles. La dégradation des services écologiques devrait s'aggraver de façon significative au cours de la première moitié du siècle, et être un obstacle à la réalisation des Objectifs du Millénaire pour le Développement.

❖ Quatre scénarios pour envisager les évolutions de la biodiversité mondiale

Le groupe de travail du MEA sur les scénarios a examiné l'évolution possible des fonctions écosystémiques au cours du 21^e siècle en élaborant quatre scénarios à l'échelle mondiale pour envisager les changements futurs plausibles des facteurs déterminants, des écosystèmes, des fonctions écosystémiques et du bien-être humain.

1. **L'Orchestration mondiale (Global Orchestration)** : dans un monde globalisé préoccupé par le commerce mondial et la libéralisation économique, la gestion des écosystèmes est réactive, mais des options fortes sont prises pour diminuer la pauvreté et l'injustice et pour développer les biens publics (éducation, infrastructures...). Le développement économique est le plus soutenu et la croissance démographique la plus basse.
2. **L'Ordre par la force (Order from Strength)** : dans un monde fragmenté et préoccupé avant tout par la sécurité et la protection, les marchés sont principalement régionaux et la gestion des écosystèmes est surtout réactive. L'activité économique est la plus basse des quatre scénarios tandis que la croissance de la population est la plus élevée.
3. **La mosaïque adaptative (Adapting Mosaic)** : dans un monde régionalisé, économiquement et politiquement articulé autour de la question de l'eau, des stratégies de gestion proactives des écosystèmes sont mises en place un peu partout grâce à des institutions locales renforcées. L'activité économique, d'abord faible, croît progressivement, de même que la population mondiale atteint les valeurs maximales vers 2050.
4. **Le Jardin planétaire (Techno Garden)** : Ce scénario présente un monde globalisé reposant essentiellement sur des technologies environnementales et faisant un usage élevé de l'ingénierie écologique.

Figure 4 : Les quatre scénarios du Millennium Ecosystem Assessment

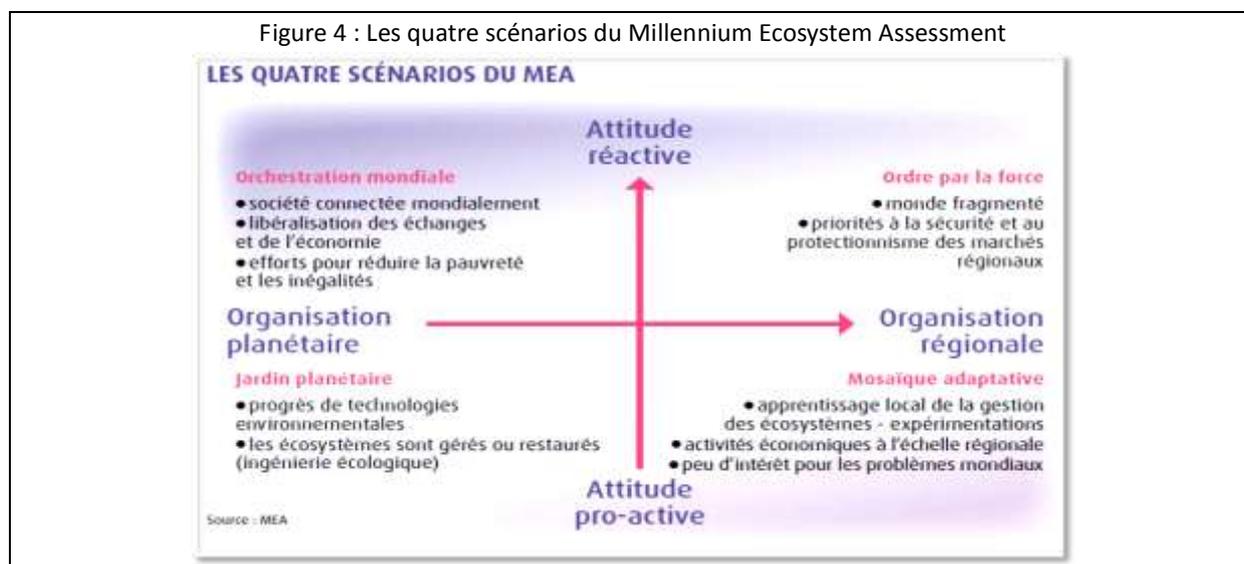


Figure 5 : Caractéristiques des quatre scénarios du MEA

Scenario Name	Dominant Approach for Sustainability	Economic Approach	Social Policy Foci	Dominant Social Organizations
Global Orchestration	sustainable development; economic growth; public goods	fair trade (reduction of tariff boundaries), with enhancement of global public goods	improve world; global public health; global education	transnational companies; global NGO and multilateral organizations
Order from Strength	reserves; parks; national-level policies; conservation	regional trade blocs; mercantilism	security and protection	multinational companies
Adapting Mosaic	local-regional co-management; common-property institutions	integration of local rules regulate trade; local nonmarket rights	local communities linked to global communities; local equity important	cooperatives, global organizations
TechnoGarden	green technology; eco-efficiency; tradable ecological property rights	global reduction of tariff boundaries; fairly free movement of goods, capital, and people; global markets in ecological property	technical expertise valued; follow opportunity; competition; openness	transnational professional associations; NGOs

Source : MEA

En ce qui concerne la biodiversité, nous venons de le voir, **les controverses ne concernent pas principalement l'état de l'érosion, ses causes ainsi que ses impacts**. Dans la foulée du Rapport Stern qui tentait d'évaluer le coût du réchauffement climatique et des non-actions, le rapport Sukdhev³⁸ missionné par la Commission européenne, ou encore le rapport Chevassus-au-Louis³⁹ réalisé à la demande du gouvernement français, ont récemment alimenté l'actualité en avançant des chiffres importants sur le rôle de la biodiversité dans nos économies et notre développement.

Par contre, la question de la réglementation de l'accès et de l'usage de ces ressources est au centre des débats. Les solutions à mettre en œuvre pour y faire face⁴⁰ font l'objet de controverses importantes, comme en témoigne les difficultés rencontrées dans le cadre des négociations internationales sur la biodiversité. Loin d'être l'apanage des biologistes, la question de la biodiversité est au cœur d'enjeux économiques et sociaux et de conflits d'intérêts, mis au devant de la scène dans le cadre de la Convention pour la diversité biologique.

La complexité de la biodiversité et de son fonctionnement rend encore difficile la mesure de son érosion : les seuils de résilience des systèmes vivants, tout comme le rôle fonctionnel de la biodiversité au sein des écosystèmes et des grands équilibres de la planète, sont encore mal connus. Face à ces incertitudes et au manque de connaissance de l'objet, les priorités et les outils de la conservation sont autant d'objets de controverse.

³⁸ Sukdhev P. (dir.), 2008. *L'économie des écosystèmes et de la biodiversité*, Rapport d'étape. Communautés européennes / Ed. Welzel+Hardt, Wesseling. Pour consulter la synthèse, réalisée en 2010 : TEEB, 2010, *Intégration de l'Économie de la nature. Une synthèse de l'approche, des conclusions et des recommandations de la TEEB*.

URL : www.teebweb.org

³⁹ Chevassus-au-Louis B. (dir.), 2009, *L'approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes*, Centre d'Analyse Stratégique (CAS).

Les controverses quant à la lutte contre l'érosion de la biodiversité

Historiquement, deux sujets de controverses peuvent plus particulièrement être mis en exergue :

1. La valeur d'existence octroyée aux espèces en danger : le point de vue *utilitariste* considère que la disparition des espèces est un phénomène historique ; les *conservationnistes* se distinguent par l'accélération du processus menant à une extinction de masse due à la disparition des écosystèmes ;
2. Les instruments économiques de conservation de la biodiversité, exigeant la définition des coûts et des bénéfices de l'usage ou de la conservation, c'est-à-dire des services environnementaux.

La biodiversité étant considérée comme un bien public à la fois local et global, elle cristallise les enjeux d'une gouvernance qui doit articuler une dimension locale et une dimension planétaire. Les ressources biologiques étant inégalement réparties sur la planète, « dans une perspective géostratégique générale de contrôle des ressources, la question de la biodiversité prend la forme d'une **controverse politico-économique** aux enjeux particulièrement importants pour les relations Nord/Sud »⁴¹.

Afin de mieux appréhender les discordances actuelles sur les moyens de lutter contre l'érosion de la biodiversité, il est indispensable de revenir sur les fondements et l'histoire de la gestion de celle-ci. N. Brahi et S. Louafi distinguent au sein de la Convention cadre sur la diversité biologique⁴² quatre discours, traduisant autant d'intérêts et de positionnements distincts :

- le discours environnementaliste ;
- le discours agronomique sur les ressources génétiques ;
- le discours économique sur les droits de propriété intellectuelle ;
- le discours culturel sur l'autochtonie et les savoirs.

La CDB a été imprégnée de ces quatre discours mais cela « s'apparente davantage à une juxtaposition d'enjeux qu'à une intégration, cohérente et harmonieuse, des quatre discours » (p.5). Le **débat sur l'accès et le partage des ressources** est au cœur des discussions, car il traverse les quatre discours.

L'émergence de la question environnementale

Avant la fin du 19^e siècle en Europe, la conservation de la nature passait principalement par la conservation de certains spécimens ou de certains lieux particuliers. Il va sans dire que seules les espèces les plus remarquables présentaient de l'intérêt et que les notions d'écosystème, d'environnement vital ou de biodiversité étaient inexistantes. Les premiers êtres vivants à bénéficier d'un programme de protection furent les éléphants (1906 en France), les rhinocéros (1908 en

⁴¹ Abdourahmane Mbade Séné, « Perte et lutte pour la biodiversité : perceptions et débats contradictoires », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Débats et Perspectives, 2010, [En ligne], mis en ligne le 25 novembre 2010. URL : <http://vertigo.revues.org/10358> p. 7

⁴² Nicolas Brahy et Sélim Louafi : « La convention sur la diversité biologique à la croisée de quatre discours », *Les rapports de l'Iddri* n°3, 2004.

Angleterre), les tortues de mer (1927 en Angleterre), et les baleines (1946). Vint ensuite la création des parcs naturels (ou parcs nationaux) dont le premier fut Yellowstone, créé en 1876 aux Etats-Unis. Puis d'autres espaces protégés naquirent dans le monde. On en dénombre plus de 102 000 aujourd'hui.

Ces actions, au début isolées, laissèrent bientôt la place à des démarches collectives qui aboutirent à la création de grands groupes internationaux de protection de l'environnement comme l'Union internationale de conservation de la nature (UICN). De même, d'importantes conférences permirent d'établir des lois internationales pour protéger le monde vivant.

❖ Avant la seconde guerre mondiale, deux visions concurrentes : le conflit entre conservationnistes et préservationnistes

« Le **conservationnisme** correspond à une **vision gestionnaire de la nature** qui vise à maximiser l'efficacité de l'utilisation des ressources et à prévenir leur surexploitation. Le principe est d'utiliser le maximum de connaissances scientifiques et technologiques pour résoudre les problèmes de rareté ou d'inefficacité d'usage des ressources naturelles » (Dryzek, 1997). Par opposition, la conception **préservationniste** perçoit les crises environnementales comme un symptôme du déséquilibre grandissant entre les activités humaines et la nature. Basée sur des considérations éthiques, elle correspond à une **critique radicale des modes de production des sociétés industrielles**. Deux justifications fondent ce discours préservationniste : **morale** (grandeur et beauté de la nature) et **scientifique** (par des écologues et géologues). Après une prépondérance conservationniste observée pendant la guerre froide, la fin des années 60 est marquée par un retour du préservationnisme : une discipline nouvelle, la *political ecology*, qui combine l'économie politique classique (marxiste) et l'écologie, apparaît et revendique un nouvel ordre plus équilibré entre société humaine et nature. Le malthusianisme économique apparaît également avec l'ouvrage de Meadows, intitulé « Les limites de la croissance »⁴³ (1972) et l'émergence des courants politiques Verts, empreints des discours critiques des mouvements sociaux. Institutionnellement, ce retour en force des préservationnistes se matérialise par la Conférence intergouvernementale d'experts scientifiques pour un usage rationnel et la conservation des ressources de la biosphère, hébergée par l'Unesco, en septembre 1968, qui aboutit au lancement du programme *Man and Biosphere (MAB)*⁴⁴ en 1971. Le programme est mis en place pour répondre spécifiquement aux préoccupations développementalistes des pays du Sud, mais dans les faits les questions de développement sont complètement absentes. Le programme est réévalué et réorienté entre 1984 et 1986.

L'UICN est ainsi la première institution à élaborer le concept d'*utilisation durable* dans son document phare, « *The World Conservation Strategy* », publié en 1980. La **Stratégie mondiale de la conservation** va constituer un document majeur pour l'ensemble des courants environnementalistes dans les années 80. Trois objectifs, qui se retrouveront dans une formulation légèrement différente au sein de la CDB, sont évoqués : la préservation des processus écologiques, l'utilisation durable des ressources et la préservation de la diversité génétique. Le terme de **développement durable**⁴⁵ y est employé pour la première fois. Dès 1985, l'UICN se prononce pour la mise en place d'une convention

⁴³ *The Limits To Growth*, Donella Meadows, Dennis Meadows, Jorgen Randers et William Behrens, MIT, Universe Books, 1972. En France : *Halte à la croissance ? Rapport sur les limites de la croissance*, éd. Fayard, 1973.

⁴⁴ Pour de plus amples informations, consultez le site de l'UNESCO : <http://www.unesco.org/new/fr/natural-sciences/environment/ecological-sciences/man-and-biosphere-programme/>

⁴⁵ Avant d'être consacré à Rio en 1992, la notion de développement durable est présente dans une publication conjointe de l'UICN, du PNUE et du WWF : *Caring for the Earth: A Strategy for Sustainable Living*, 1991.

cadre sur la biodiversité qui rassemblerait l'ensemble des conventions environnementales existantes, en mettant un point d'orgue sur la question du libre accès et l'établissement d'un fonds international. La notion de développement durable à travers la notion « d'équité intergénérationnelle » et autour de celle de « besoin », combine **justice sociale** et **environnement**. La durabilité y est perçue davantage pour le bien-être des populations que pour celui de la nature.

Trois nouvelles préoccupations vont se cristalliser autour de trois discours : un débat agronomique sur les ressources génétiques, un débat économique sur les droits de propriété intellectuelle, un débat culturel sur l'autochtonie et les savoirs.

Le débat agronomique sur les ressources génétiques

Trois axes de clivages se sont développés sur la question des ressources génétiques : l'élaboration d'une solution scientifique, le choix d'un modèle de gouvernance et un conflit de compétences entre organisations.

La conférence technique organisée par la FAO et l'International Biological Program en 1967 soulève les enjeux liés à l'exploration, l'utilisation et la conservation des **ressources génétiques agricoles (RGA)**. Le constat de l'érosion génétique n'y fait l'objet d'aucune controverse, c'était d'ailleurs l'objectif des scientifiques à l'origine de l'évènement : reconnaître l'importance de l'érosion des RGA. La controverse éclate quant aux moyens pour faire face à cette érosion : *quelles méthodes* seraient adoptées pour collecter *quelles ressources génétiques agricoles* ? C'est alors que deux courants vont se dessiner, courants que l'on retrouve encore aujourd'hui :

- la conservation ex-situ : Le courant utilitariste prône une conservation des espèces (en l'occurrence lors de cette conférence : les espèces cultivées et leurs ancêtres) en dehors de leurs milieux naturels ;
- la conservation in-situ : Le mouvement, issu de l'écologie des populations, juge la conservation des espèces dans leur milieu naturel indispensable, même pour des espèces sans intérêt économique immédiat.

Conservation in-situ vs conservation ex-situ⁴⁶ : les enjeux du débat

« Plus largement, cette querelle de scientifiques révèle des enjeux plus vastes qui vont se retrouver au cours des décennies suivantes: des **enjeux techniques** - les pratiques de sélection en vigueur dans la communauté des généticiens ont joué en faveur de la conservation ex-situ ; des **enjeux commerciaux** pour les firmes semencières privées qui voient l'utilité directe de collections ex-situ répertoriées et utilisables en l'état ; des **enjeux politiques** pour les Etats-Unis, certains pays du Sud et la FAO, la conservation ex-situ permettant de faire directement le lien avec les problèmes de production agricole (selon la pratique orthodoxe de l'agronomie et de la génétique à l'époque) et de mettre en place la révolution verte qui apparaît, à ce moment-là, comme le seul moyen de garantir la sécurité alimentaire.

Ce débat est aussi celui du **mode de gouvernance** du réseau de conservation des ressources génétiques agricoles. La conservation ex-situ présuppose un **réseau international centralisé de grandes banques de gènes** alors que la conservation in-situ réclame une **démarche plus décentralisée géographiquement et politiquement**, fondée sur d'autres savoirs que scientifiques et associant davantage les agriculteurs et les communautés rurales.»⁴⁷

Suite à cette conférence de la FAO de 1967, les modalités de mise en place du réseau international de banques de RGA et les sources de financement ont été définies. Après la conférence de Stockholm, le discours in-situ se retrouve marginalisé et laisse place à un débat sur la conservation ex-situ, qui hésite entre une approche *per se*, sous la forme de banques de gènes régionales (portée par la FAO), et l'approche orientée vers la *sélection* sous la forme de banques monovariétales de gènes (portée par le Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale⁴⁸).

Suite à l'affaire « Chakrabarty vs. Diamond »⁴⁹ en 1980 aux Etats-Unis, le débat devient plus politique et des ONG activistes se mobilisent contre les risques de « marchandisation » des RGA. Le conflit Nord-Sud se cristallise alors entre la revendication de **droits d'obtenteurs**, basés sur une protection intellectuelle pour compenser les investissements de l'isolement de nouvelles variétés, et de **droits des agriculteurs**, qui soulignent la nécessaire mise à disposition pour eux de la matière première, à savoir les ressources génétiques. Derrière ce débat, se cache la dimension économique du problème : d'un côté les agronomes considèrent que les RGA doivent rester patrimoine commun de l'humanité et refusent qu'une valeur économique leur soit attribuée ; de l'autre, les ONG redoutent derrière

⁴⁶ La conservation ex-situ est définie dans la Convention pour la Diversité Biologique comme **la préservation d'une composante de la diversité biologique en dehors de son habitat naturel**. En fonction du statut de conservation de l'espèce concernée, les objectifs de la conservation ex-situ peuvent être fixés à court, moyen ou long terme et inclure des techniques variées : élevage conservatoire ou de recherche, élevage pour le renforcement des populations ou pour une réintroduction, banque de gènes... Les zoos, les jardins et conservatoires botaniques, des instituts de recherche, des ONGs et fondations sont aujourd'hui et de plus en plus impliqués dans les programmes de conservation ex-situ.

⁴⁷ In « La convention sur la diversité biologique à la croisée de quatre discours », Nicolas Brahy et Sélim Louafi, *Les rapports de l'Iddri* n°3, 2004, p.10

⁴⁸ Créé en mai 1971, le GCRAI est composé de centres internationaux de recherche agronomique (CIRA), d'un groupe consultatif qui coordonne les recherches et déterminent les priorités et enfin d'un Technical Advisory Committee chargé de conseiller le GCRAI et de réaliser des audits sur les CIRA.

⁴⁹ L'arrêt *Chakrabarty vs. Diamond* de la Cour suprême des Etats-Unis en 1980, en autorisant la protection par brevet d'un micro-organisme, a ouvert la possibilité d'une généralisation du brevet et donc d'une appropriation des gènes. Voir page suivante pour plus de détails.

l'affirmation des RGA comme bien public échangeable les risques d'une marchandisation, opposée au principe d'une libre circulation des ressources génétiques.

Un nouveau compromis apparaît suite aux *Keystone Dialogues*, conférences délibératives organisées entre 1988 et 1991 par une fondation américaine (The Keystone Center) et réunissant membres des gouvernements du Nord et du Sud, scientifiques et représentants des firmes semencières et agrochimiques. Le contexte dans lequel se déroulent ces dialogues est marqué par l'avènement de la notion de développement durable. Les notions de « durée » et de « reproductibilité à long terme » reviennent également sur le devant de la scène donnant une acuité nouvelle à la conservation in situ, en lien avec la question du développement. Ainsi, « *il est reconnu que les variétés collectées ne sont pas brutes mais sont le fruit d'une amélioration séculaire par les paysans et les communautés rurales. Par le biais du droit des agriculteurs, on reconnaît d'autres formes d'innovation que celles découlant d'une démarche scientifique* »⁵⁰. **Cette reconnaissance des deux types de droits – des obtenteurs et des agriculteurs – remet en cause l'idée de patrimoine commun de l'humanité et amène à reconnaître la souveraineté des Etats sur les ressources génétiques.**

Le débat économique sur les droits de propriété intellectuelle

❖ L'émergence de la revendication d'un droit de propriété sur le vivant

La revendication du droit de propriété globale du vivant, s'étendant à un ensemble indéfini d'individus n'est apparue qu'au XX^e siècle et s'est particulièrement affirmée avec l'essor des biotechnologies. Elle résulte en effet d'une conjonction entre des possibilités techniques nouvelles et des enjeux économiques devenus planétaires. L'histoire des **Droits de Propriété Intellectuelle (DPI)** sur le vivant a démarré autour des années 1920, au moment où l'amélioration variétale et la sélection des plantes ont pris le dessus dans le domaine de la production agricole.

Jusqu'au début des années 1990, une distinction claire semblait exister, tant dans la théorie que dans la pratique, entre les ressources génétiques « naturelles » et les races et variétés issues de l'activité des sélectionneurs. Sous le premier terme étaient incluses non seulement les espèces existant à l'état « naturel », mais aussi les variétés traditionnelles utilisées par les agriculteurs et issues de nombreuses générations de sélection collective empirique.

À partir de ces ressources, des opérateurs publics ou privés ont développé, par sélection et croisement, des variétés « modernes », dont il est apparu légitime de protéger la diffusion par un système approprié. L'objectif de cette protection était, à la fois, d'encourager l'innovation, en assurant à l'obtenteur une juste rémunération de ses efforts via l'exclusivité de la commercialisation de sa variété et de favoriser l'émulation, en permettant aux autres obtenteurs de repartir de ces variétés modernes, et non des ressources génétiques de départ, pour créer une nouvelle variété. Cette nouvelle variété pourra à son tour être homologuée et protégée, dès lors qu'elle se distinguera par un ou plusieurs caractères des variétés existantes, sans qu'il soit nécessaire de verser une redevance quelconque aux obtenteurs des variétés de départ. Ces règles originales régissant le **certificat d'obtention végétale (COV)**, beaucoup plus ouvertes que celles des brevets, ont été formalisées en 1961 par la Convention de Paris, créant l'**Union pour la protection des variétés végétales (UPOV)**, qui rassemble actuellement une quarantaine de pays. En outre, selon les termes de cette convention, si l'obtenteur conserve l'exclusivité de la commercialisation de sa variété,

⁵⁰ In « La convention sur la diversité biologique à la croisée de quatre discours », Nicolas Brahy et Sélim Louafi, *Les rapports de l'Iddri* n°3, 2004, p.14

l'agriculteur qui achète des semences peut librement ressemer les produits de sa récolte, et donc multiplier la variété pour son propre usage (lorsqu'elle se reproduit de manière conforme - voir ci-dessus), sans devoir acquitter un quelconque droit.

Dans le droit français, la loi de décembre 2011 sur les certificats d'obtentions végétales (COV) et les semences de ferme n'est pas encore en œuvre. Depuis, il y a eu la mise en place d'autorisations de mise sur le marché des semences. Ainsi, pour être mise sur le marché, en France comme en Europe, une semence doit être inscrite au catalogue (certification "produit"). Pour être inscrite au catalogue, une semence doit remplir les mêmes conditions que pour être protégée par un certificat d'obtention végétale. Cela limite le nombre de semences qui peuvent être inscrites au catalogue en France. Il s'agit là d'une décision politique.

Parallèlement, en ce qui concerne le droit des agriculteurs, en France a été introduite la contribution volontaire obligatoire. Un agriculteur qui utilise des variétés qui ne figurent pas dans le catalogue devra payer une redevance. On taxe l'utilisation de ces variétés non inscrites. La mise en œuvre de ces dispositions reste à confirmer dans l'application.

❖ La nationalisation du patrimoine commun

La décennie 1990 a marqué un tournant par rapport à cette vision très ouverte de la propriété du vivant.

Le premier coup de semence est venu des États-Unis avec le cas Chakrabarty vs. Diamond : en 1980, la Cour suprême bouleverse près d'un siècle de jurisprudence sur la non-applicabilité du droit des brevets aux êtres vivants. Alors que l'Office américain des brevets avait rejeté en 1972, sur la base du principe précédent, une demande relative à une bactérie dégradant des hydrocarbures, la Cour suprême a donné raison à l'inventeur et affirmé (par 5 voix contre 4) que le seul fait qu'une matière était vivante ne devait pas l'exclure de la brevetabilité.

Le deuxième événement déstabilisateur a concerné les ressources génétiques elles-mêmes: en 1991, le gouvernement du Costa Rica a concédé pour un million de dollars à la société Merck-Inbio l'exclusivité de l'exploration et de la collecte d'échantillons de microorganismes, d'insectes ou de plantes.

Cette nationalisation du patrimoine commun de l'humanité a été entérinée en 1992 par la Convention de Rio sur la diversité biologique, signée à ce jour par 174 États, qui reconnaît la souveraineté des États sur les ressources vivantes de leur territoire. Conséquence rétroactive de cette décision, de nombreux États revendiquent aujourd'hui un droit de propriété sur les ressources collectées et conservées par les centres agronomiques internationaux, en considérant que ces ressources ont souvent contribué au succès de l'agriculture des pays du Nord sans qu'une contrepartie ne soit versée au pays d'origine. Cette revendication, toujours en discussion dans les instances internationales, souligne en particulier la contribution importante des agriculteurs des pays du Sud à la domestication de certaines espèces.

❖ La brevetabilité du vivant

Dans le concept global de ressources génétiques, il conviendrait donc d'opérer une distinction entre, d'une part, les ressources constituées par des plantes existant à l'état sauvage, qui sont l'œuvre de la nature, et, d'autre part, les variétés cultivées traditionnelles, qui représentent plusieurs centaines

d'années de domestication empirique et constituent donc un investissement collectif qu'il serait légitime de reconnaître et de rémunérer. Le débat est d'autant plus vif que l'introduction dans ces pays de variétés modernes protégées par des brevets conduirait les agriculteurs à ne plus pouvoir ressemer librement des plantes dont ils auraient contribué à façonner les caractéristiques majeures.

Historiquement, aucun domaine technique n'a jamais été explicitement écarté du champ de la brevetabilité : la délivrance de brevets pour des inventions d'origine biologique (au départ, de nouvelles semences essentiellement) était monnaie courante au XIX^e et début du XX^e siècle. En France par exemple, la protection juridique des inventions était vouée à *tous les genres d'industrie* selon les termes des décrets des 30 décembre 1790 et 7 janvier 1791. L'exclusion du vivant a pourtant longtemps existé, de façon tacite. Un tribunal de commerce a d'ailleurs déclaré le corps humain comme non brevetable en 1844, déclarant que celui-ci ne pouvait pas être rangé parmi les objets d'industrie. Cette vision des choses évolua par la suite et Louis Pasteur obtint en 1873 un des premiers brevets pour un organisme vivant, une souche de levure utilisée dans la fabrication de la bière.

En effet « *par rapport à des objets inertes, les êtres vivants se définissent par deux propriétés qui peuvent apparaître contradictoires : d'une part, ils sont **autoreproductibles**, c'est-à-dire qu'ils sont capables de générer sans intervention humaine de nouveaux individus semblables et, d'autre part, à quelques exceptions près, ils ne se reproduisent pas de manière conforme, autrement dit aucun individu n'est strictement identique à l'un ou l'autre de ses parents ou apparentés proches.* »⁵¹

La législation actuelle concernant les brevets sur le vivant correspond à une réglementation nationale soumise à certaines directives internationales de **l'Accords sur les droits de propriété intellectuelle liés au commerce (ADPIC) et de l'Office européen des Brevets (OEB)**. Les ADPIC ont pour but d'harmoniser les législations des différents pays. Ils ont été créés lors des accords de Marrakech en 1994 qui ont vu naître l'OMC et ils répondent donc à une volonté de mondialiser les échanges commerciaux. Ils excluent de la brevetabilité les animaux et végétaux hors micro-organismes. L'OEB n'est pas une instance de l'Union européenne. C'est un office auprès duquel sont déposés des demandes de brevets qui seront valables dans ses 34 états membres. Dans ses textes, il est exclu du domaine du brevetable toute invention dont l'exploitation serait contraire aux bonnes mœurs, les procédés de modification de l'identité génétique des animaux de nature à provoquer chez eux des souffrances ou des handicaps corporels sans utilité pour l'homme ou l'animal, ainsi que le corps humain et ses éléments en leur état naturel. Toutefois, ces textes de loi sont d'une interprétation parfois délicate, et pouvant varier dans le temps.

Ainsi, au début des années 1990, Craig Venter et le National Institutes of Health brevètent des gènes humains aux États-Unis. En 2000 est entrée en vigueur en Europe la directive sur la brevetabilité des inventions biotechnologiques, qui fait appel, entre autres, à des principes éthiques pour limiter la brevetabilité, tout en autorisant la protection intellectuelle d'inventions biotechnologiques.

Avant l'avènement des biotechnologies modernes, un organisme vivant ne pouvait pas faire l'objet de brevet, car le vivant n'est pas une invention de l'Homme, les ressources génétiques agricoles

⁵¹ « L'appropriation du vivant : de la biologie au débat social », Bernard Chevassus-au-Louis, article repris du *Courrier de l'environnement de l'INRA* n°40, juin 2000

appartenaient à toute l'Humanité. De ce fait, la FAO et d'autres organisations internationales ont favorisé la collecte des ressources génétiques dans le monde. **Avec les biotechnologies, cette position a changé.** Les droits de propriété intellectuelle de type industriel (brevet) sont reconnus sur les organismes génétiquement modifiés (OGM), et les royalties vont à un particulier ou à une firme. Le bénéficiaire d'un brevet acquiert l'exclusivité commerciale, avec un délai de protection qui est généralement de 20 ans.

L'accord sur les ADPIC est censé être l'instrument de protection des droits de propriété intellectuelle le plus complet dans ce domaine au niveau international. L'accord sur les ADPIC régit les droits d'auteur et droits connexes, les marques de fabrique ou de commerce, les indications géographiques (y compris les appellations d'origine), les dessins et modèles industriels, les brevets (y compris la protection de nouvelles variétés végétales), les schémas de configuration (topographies) de circuits intégrés et les renseignements non divulgués (y compris les secrets commerciaux). L'accord ne met pas en place un régime unique mais oblige les signataires à respecter certains principes de base en matière de protection de la propriété intellectuelle. Cependant l'accord ADPIC implique que tous les pays signataires acceptent :

- **le brevetage des micro-organismes et des « procédés microbiologiques » ;**
- **des formes « efficaces » de droits de propriété intellectuelle** sur ces variétés de plantes, que qu'il s'agisse de brevets ou d'autres formes de propriété.

Cet accord autorise les pays à écarter les animaux et les plantes en tant que tels de la brevetabilité, mais les clauses évoquées ci-dessus ont des implications suffisamment sérieuses, car aucun pays n'est plus autorisé à exclure le brevetage des formes de vie en général (les micro-organismes sont ouverts au brevetage).

Plusieurs demandes de brevets ont été déposées, et certaines acceptées, sur des matériaux génétiques humains, dont certains étaient très peu modifiés par rapport à leur état naturel. Jusqu'à très récemment, ces pratiques étaient limitées à quelques pays, qui ne pouvaient pas les imposer aux autres. Néanmoins, la signature du traité relatif aux ADPIC, change la donne. Des contradictions fondamentales existent entre les objectifs de l'ADPIC et ceux de la CDB. Les travaux d'ETC Group⁵² reflètent l'absence de consensus international sur ces questions difficiles de droits et d'équité.

Geneviève Azam, économiste, soulève cette contradiction fondamentale entre le régime des ADPIC et la CDB : *« En érigeant les DPI en droits privés, l'ADPIC est en contradiction avec cette Convention. En effet ADPIC et la CDB se réfèrent à deux systèmes de droit opposés : l'accord sur les ADPIC introduit des droits individuels privés sur les ressources biologiques, alors que la CDB consacre le droit des Etats et des communautés indigènes et affirme que les Etats jouissent d'un droit souverain sur leurs ressources biologiques (article 3 et 15-1 de la Convention). Elle rend nécessaire le consentement préalable du pays qui fournit les ressources génétiques pour l'accès à celles-ci (article 15.5). L'accord sur les ADPIC, ayant valeur de droit commercial international dans le cadre de l'OMC, et non plus seulement de recommandations, établit que les ressources naturelles doivent être soumises au droit privé de propriété intellectuelle, sans consentement nécessaire, et confie ainsi la conservation de la*

⁵² Consulter les travaux d'ETC (*Action Group on Erosion, Technology and Concentration*) sur les ressources génétiques sur leur site web : www.etcgroup.org

biodiversité à quelques firmes transnationales alors que la Convention la confie aux peuples et aux États.

Cette déterritorialisation abolit la notion de souveraineté et de définition d'un usage commun. Elle favorise la bio piraterie internationale qui marque aujourd'hui les rapports Nord-Sud. »⁵³

Cet accord est ainsi venu ajouter des obligations à celles des conventions de Paris, Berne, Rome et Washington dans leurs champs respectifs. Tout pays qui devient membre de l'OMC et qui souscrit aux ADPIC s'engage à respecter ces conventions.

« **Partager les avantages, c'est aussi adhérer à la croyance qu'il existe un marché des ressources génétiques qui alimenterait une nouvelle économie basée sur la connaissance et les biotechnologies, dont les retombées serviraient la conservation de la biodiversité.** » Aubertin, Pinton, Boisvert, 2007⁵⁴.

La question des droits de propriété intellectuelle (DPI) est très controversée. Celle qui concerne les DPI sur le vivant est particulièrement sensible dans la mesure où elle pose des problèmes éthiques. Cette question est désormais au centre des débats sur la renégociation des ADPIC alors que de puissantes entreprises transnationales dans le secteur des biotechnologies cherchent à élargir la brevetabilité sur le vivant. Les pays industrialisés, qui localisent l'expertise technique et les ressources financières permettant le développement d'une "industrie du vivant", sont en faveur de l'extension des DPI au domaine du vivant. Les pays en développement (PED), qui détiennent une grande partie de la biodiversité mondiale, sont plus réticents et veulent limiter la portée de ces droits. L'accord sur les ADPIC fait ainsi ressortir les

Le débat culturel sur la reconnaissance des savoirs autochtones et la bio piraterie

Tout au long de leur histoire, les sociétés humaines traditionnelles ont utilisé les plantes médicinales pour se soigner. En Amazonie, par exemple, les peuples indigènes utilisent plus de 1300 plantes médicinales. Les plantes, ressources naturelles, sont répertoriées. Ainsi, 350.000 espèces ont été répertoriées. Or, on estime que 2% seulement des molécules biologiquement actives de ce réservoir unique ont été analysés pour leurs propriétés médicales potentielles. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), **80% de la population de la planète dépendent des remèdes traditionnels issus d'espèces sauvages**. Nos sociétés modernes sont particulièrement demandeuses de ces molécules

⁵³ Geneviève Azam, « Les droits de propriété sur le vivant », *Développement durable et territoires* [En ligne], Dossier 10 : Biens communs et propriété, mis en ligne le 07 mars 2008, consulté le 04 avril 2012. <http://developpementdurable.revues.org/5443>

⁵⁴ In Aubertin et Filoche, Le Protocole de Nagoya sur l'utilisation des ressources génétiques : l'expression d'un débat sans fin, p.1

naturelles qui renferment des principes actifs dont on s'inspire pour concevoir la majorité de nos médicaments.

Le discours culturel sur l'autochtonie s'est développé face aux pratiques de **biopiraterie**, à savoir **l'appropriation par les pays du Nord des ressources biologiques des pays du Sud**. Catherine Aubertin reprend la définition des pays et ONG qui la dénoncent : « *une situation où l'accès et l'acquisition de ressources biologiques et du savoir traditionnel associé s'effectuent sans recueil préalable du consentement informé de la part de ceux qui se reconnaissent comme détenteurs de ces ressources et de ces savoirs. L'accès et l'usage des ressources sont donc jugés illégaux, quel que soit l'état de la législation nationale du pays d'origine des ressources et s'apparentent à un vol* »⁵⁵.

Le cas du cactus hoodia

En 2002, autour du « hoodia gordonii » s'est écrite une nouvelle page de l'histoire globale de l'exploitation des peuples indigènes. Durant des milliers d'années, le peuple San de Namibie a consommé le cactus hoodia – appelé « xhoba » en dialecte local – afin de lutter contre la faim et la soif pendant les longues périodes de chasse. Outre le fait de soulager la faim et la soif, le xhoba entraîne également un état de vigilance accrue, sans la nervosité causée par les régimes occidentaux à base de caféine. Ce choix était donc idéal pour les longues chasses, durant lesquelles la proie est traquée sur des centaines de kilomètres. Dans le milieu des années 1990, des scientifiques sud-africains du Conseil pour la recherche scientifique et industrielle (CSIR) ont commencé à étudier les propriétés de la xhoba. Des animaux de laboratoire alimentés de la pulpe du cactus ont perdu du poids, sans contracter de maladies. C'est durant ces tests que les chercheurs du CSIR ont découvert que la plante contenait une molécule inconnue jusqu'alors, qu'ils ont nommée P57. Le CSIR, qui a breveté le composé en 1997, a vendu la licence à Phytopharm plc, qui en 1998 a sous-loué la molécule ainsi que les droits de commercialisation au géant pharmaceutique Pfizer pour 32 millions de dollars, sans compter les royalties sur les futures ventes.



Quelle gestion durable de la biodiversité ?

S'il existe aujourd'hui des convergences assez fortes à la fois sur l'état de la biodiversité et sur les facteurs de son érosion, comme nous l'avons vu précédemment, le débat reste entier sur les mesures à adopter et sur ce qui devrait être fait en priorité pour la sauvegarder selon les différentes approches.

⁵⁵ in *La biopiraterie*, Catherine Aubertin, Encyclopédie du développement durable, article n°7, mai 2006, en ligne : <http://www.encyclopedie-dd.org/encyclopedie/gouvernance/2-4-les-changements-globaux-effet/la-biopiraterie.html>

Quel est le coût de cette érosion de la biodiversité ? On estime aujourd'hui que **40% de l'économie mondiale reposent sur des produits biologiques et des processus écologiques**. Ceci sans compter le rôle fondamental joué par la biodiversité dans la régulation des cycles biogéochimiques et les grands équilibres de la biosphère ; élément qui risque d'être fortement perturbé par les changements climatiques à prévoir.

Comme le souligne Gilles Bœuf, « **il est fort probable que la solution viendra d'un rapprochement harmonieux entre économie et écologie** »⁵⁶. Deux orientations majeures se dessinent dans la gestion de la biodiversité :

- **Le développement d'une « économie de la nature » ou « bioéconomie »**, via l'évaluation économique des services écosystémiques rendus par la biodiversité ;
- **La mise en œuvre territoriale d'une gestion collective de la nature**, à travers la définition de biens communs.

Au-delà, les questions de protection des ressources biologiques soulèvent des enjeux non seulement économiques mais également géopolitiques et culturels. Selon Jacques Weber, économiste et directeur de recherche au CIRAD, « *la gestion de la biodiversité est une gestion de conflits d'intérêts ou de culture* »⁵⁷. Ce sont en effet deux visions du monde, deux rapports à la nature qui s'illustrent dans cet antagonisme. La biodiversité est une question éminemment culturelle, sensible et soulève des enjeux d'identification. La CDB cristallise ce très fort conflit Nord-Sud.

Faut-il donner un prix à la nature pour mieux la protéger ?

❖ Evaluation économique des écosystèmes et de la biodiversité : le rapport Sukdhev⁵⁸

La réalisation d'un rapport mondial analysant « l'impact économique de la perte de biodiversité au niveau mondial » ("The economics of ecosystems and biodiversity" ou TEEB)⁵⁹ a été lancée lors de la conférence de Potsdam en mars 2007. Dans la lignée du rapport Stern qui chiffrait le coût du changement climatique, l'équipe de Pavan Sukhdev⁶⁰, responsable de l'étude, a ainsi estimé les bénéfices économiques globaux liés à la biodiversité et les coûts engendrés par son érosion, missionné par le Commissaire à l'environnement de la Commission européenne Stavos Dimas et par le Ministre de l'environnement allemand Sigmar Gabriel.

Les conclusions globales du rapport Sukdhev

L'étude s'attache d'abord à rappeler que la nature apporte à nos sociétés de nombreux bienfaits : nourriture, eau propre, fibres, sols sains, protection contre les inondations, médicaments, stockage du carbone... Les pressions de nos modes de vie actuels altèrent les écosystèmes et nous en subissons, ou subiront, en retour, les conséquences. Au terme de la première phase des travaux les conclusions sont sans appel : si nous n'adoptons pas les politiques appropriées, le déclin actuel de la

⁵⁶ in Gilles Bœuf, Op. Cit. p.85

⁵⁷ in Gilles Bœuf, Op. Cit. p.86

⁵⁸ www.teebweb.org

⁵⁹ Différents guides ont été réalisés à partir de ce rapport, à destination des acteurs : décideurs, entreprises, citoyens, collectivités territoriales. <http://www.teebweb.org/InformationMaterial/TEEBReports/tabid/1278/Default.aspx>

⁶⁰ Responsable du département des marchés internationaux de la Deutsche Bank à Bombay et fondateur d'un projet de « comptabilité environnementale » pour l'Inde.

biodiversité et la perte de services rendus par les écosystèmes vont se poursuivre et dans certains cas vont même s'accroître. Certains écosystèmes sont susceptibles de souffrir de dommages irréparables.

Les premières victimes seraient les populations dont le mode de vie dépend directement de l'accessibilité à ces ressources, pour leurs besoins essentiels (habitat, énergie, élevage, pêche, agriculture vivrière...). A l'heure de la crise sur les matières premières alimentaires, ce rapport sonne à nouveau le signal d'alarme : les plus démunis paieront le prix fort de la dégradation des ressources naturelles.

Dans un scénario inchangé, d'ici 2050, une diminution de 11 % des zones naturelles restantes en 2000 est à craindre, principalement en raison de la **conversion de ces terres à l'agriculture, du développement des infrastructures et du changement climatique**. Près de 40 % des terres actuellement exploitées pour des formes d'agriculture peu intensive pourraient être converties en terres d'agriculture intensive, ce qui entraînerait des pertes supplémentaires de biodiversité. Enfin, 60 % des récifs coralliens risquent de disparaître d'ici 2030 du fait de la pêche, des maladies, des espèces allogènes envahissantes et du blanchissement des coraux lié au changement climatique. Ce qui causerait un appauvrissement de la vie sous-marine. Ce phénomène coûterait 100 milliards de dollars, 27 millions d'emplois mais aussi des pertes en apport de protéines à une population de près d'un milliard de personnes, selon l'économiste indien.

Le rapport⁶¹ insiste en particulier sur la nécessité de **considérer les flux des services tirés des écosystèmes comme des dividendes que les sociétés humaines reçoivent du capital naturel**. L'économiste indien considère comme inacceptable de perpétuer des comportements considérant les biens et services tirés de la nature comme gratuits et illimités. S'appuyant sur l'exemple du déboisement, il souligne le besoin de **prendre en compte le fait que les coûts issus des dégradations de l'environnement pèsent souvent sur des parties prenantes externes** à celles qui sont à l'origine de ces dégradations.

Concernant l'évaluation des services issus de la nature, le document souligne à maintes reprises que leur valeur n'est pas entièrement mesurable monétairement. Après une analyse des principales méthodes d'évaluations, ces travaux permettent d'affirmer que la méthode la mieux adaptée est d'évaluer les conséquences des changements découlant des options de gestion alternatives, plutôt que de tenter d'estimer la valeur totale des écosystèmes. Le TEEB propose ainsi un nouvel instrument de mesure des coûts écosystémiques qui établit que le coût de l'inaction se chiffrerait en 2050 à 7% du PIB mondial et 60 % du « PIB des pauvres » (PIB des secteurs de l'agriculture, de l'élevage et de la sylviculture informelle, nommé ainsi car de nombreux pauvres des pays en développement tirent leurs sources de revenus et d'emploi de ces secteurs).

Les économistes préconisent d'intégrer ces valeurs dans les prises de décisions économiques par le biais de mesures incitatives et de signaux liés aux prix : *« cela peut comprendre des paiements pour les services écosystémiques, la réforme des subventions préjudiciables à l'environnement, l'introduction d'allègements fiscaux en faveur de la conservation ou la création de nouveaux marchés pour les services écosystémiques et les biens fabriqués conformément au concept de durabilité »*⁶². Les

⁶¹ « L'Économie des écosystèmes et de la biodiversité : Intégration de l'Économie de la nature. Une synthèse de l'approche, des conclusions et des recommandations de la TEEB », 2010.

⁶² *Op. Cit.*, p.15.

auteurs mettent toutefois en avant la nécessité d'évaluer si ces solutions orientées sur le marché sont susceptibles d'être acceptables d'un point de vue culturel, tout en étant efficaces, économiques et équitables. **Intégrer le facteur des coûts et des risques environnementaux dans les décisions économiques**, via la forme d'un paiement direct par les utilisateurs des services écosystémiques, d'un système de droits à polluer ou d'une fiscalité environnementale **est donc un enjeu fondamental pour la gestion future de la biodiversité**. Il faut rappeler que le rapport Stern rencontra lui-même cette difficulté, l'acceptabilité sociale de telles mesures.

Enfin, le rapport Sukdhev propose une mise en pratique des préconisations en trois étapes qui est ensuite appliquée plus en détail à un écosystème (forêts), aux villes, et à une activité économique (exploitation minière) :

- « **Étape 1 : Pour chaque décision, IDENTIFIER ET ÉVALUER** la gamme complète des services écosystémiques affectés et les implications pour les différents groupes de la société.
- **Étape 2 : ESTIMER et DÉMONTRER** la valeur des services écosystémiques en utilisant des méthodes appropriées. Analyser dans la durée et l'espace les liaisons qui affectent quand et où les coûts et avantages d'usages particuliers de la biodiversité et des écosystèmes sont réalisés.
- **Étape 3 : IDENTIFIER la valeur des services écosystémiques** et chercher des **SOLUTIONS** pour surmonter leur sous-évaluation ou non-évaluation, grâce à des instruments politiques économiquement fondés.⁶³ »

❖ Difficultés et écueils de l'évaluation économique de la biodiversité

« Cela n'a rien à voir avec une « valeur économique intrinsèque de la nature » » (J. Gadrey)

Bien évidemment, « ces estimations sont extrêmement réductrices », comme le souligne Jean Gadrey⁶⁴, économiste, puisqu'elles ne se concentrent en général que sur une ou deux **fonctions écologiques supposées substituables** – c'est à dire pouvant être compensée(s) par du travail ou des technologies humaines (Gadrey, 2011). Le processus devient toutefois plus délicat lorsqu'il s'agit de valeurs moins directement liées à la production, ou non directement substituables. La distinction entre *fonctions écologiques* et *services écosystémiques* est alors fondamentale. Les *fonctions écologiques* se définissent comme les processus biologiques de fonctionnement et de maintien de l'écosystème, et les *services écosystémiques* comme les bénéfices retirés par l'homme des processus biologiques. Les fonctions écologiques sont à l'origine des services écosystémiques, dont l'homme peut tirer des bénéfices directs ou indirects, des biens produits, utilisés et consommés par l'homme, et ayant une valeur économique et/ou sociale pour les sociétés humaines. « Ainsi, les fonctions écologiques répondent à une vision éco-centrée, alors que les services écosystémiques renvoient à une vision anthropocentrée (directe ou indirecte) des écosystèmes et de leur fonctionnement. »⁶⁵

L'évaluation des services écosystémiques est éminemment complexe par le simple constat de la **relation non-bijective entre les milieux, les fonctions et les services**. En effet, un service peut être

⁶³ Op. Cit., p.17

⁶⁴ Gadrey J., 2011. « Préserver la nature en lui donnant un prix ? », Blog de Jean Gadrey pour Alternatives Economiques, 22/09/2011

URL : <http://alternatives-economiques.fr/blogs/gadrey/2011/09/22/preserver-la-nature-en-lui-donnant-un-prix/>

⁶⁵ Source : « Projet de caractérisation des fonctions écologiques des milieux en France », (p.5), Commissariat général au développement durable, *Études et documents*, Numéro 20, Mai 2010, 74 pages.

assuré par plusieurs fonctions écologiques et inversement, une fonction écologique peut contribuer à la réalisation de plusieurs services écosystémiques. De la même façon, un milieu peut être à l'origine de plusieurs fonctions, et une fonction écologique peut être assurée par différents milieux (cf. *annexe3*).

Ce genre d'évaluation pose de nombreuses difficultés et fait évidemment l'objet de critiques. A combien peut-on estimer la disparition d'une espèce vivante qui n'a pas de valeur marchande directe ou indirecte ? A combien estimer la valeur d'un paysage ?

Pour répondre à ces questions, les économistes font souvent appel à des enquêtes reposant sur le consentement à payer des populations : la valeur estimée est basée sur le prix moyen que les gens interrogés sont prêts à dépenser pour, par exemple, préserver une espèce ou protéger un milieu. Ces **méthodes d'évaluation dites contingentes** font l'objet de nombreuses critiques, tant pour des raisons morales que méthodologiques.

- **Des critiques d'ordre moral**, d'abord, car l'exercice s'inscrit dans une philosophie utilitariste pour laquelle tout a une équivalence, tout est substituable (en particulier par de l'argent) ; ce qui pour Julien Milanesi revient à nier « *l'existence de tout principe moral supérieur* » (Milanesi, 2009).
- **Des critiques méthodologiques**, ensuite, puisque l'économie ne permet pas de mesurer le caractère vital de la biodiversité, ni d'intégrer les valeurs dites de non-usage, qui ne sont simplement pas exprimables en termes monétaires. Les prix d'un bien sont aujourd'hui fonction de sa rareté et de l'utilité matérielle qu'on en retire. Il n'est aucunement fonction du caractère vital qui le lie à l'homme. De plus, **l'outil économique permet la recherche de l'efficacité et non pas de l'équité**, l'évaluation économique ne peut constituer le seul outil d'arbitrage pour les décideurs.

Plus globalement encore, une critique récurrente porte sur les risques de dérive que tiendraient en germes les principes mêmes de substitution et d'équivalence : L'obligation de compenser des atteintes à la biodiversité ne devant pas un droit à détruire, un droit à polluer. Mais comment s'en prémunir ?

❖ Nos valeurs influent sur le niveau de protection de la biodiversité

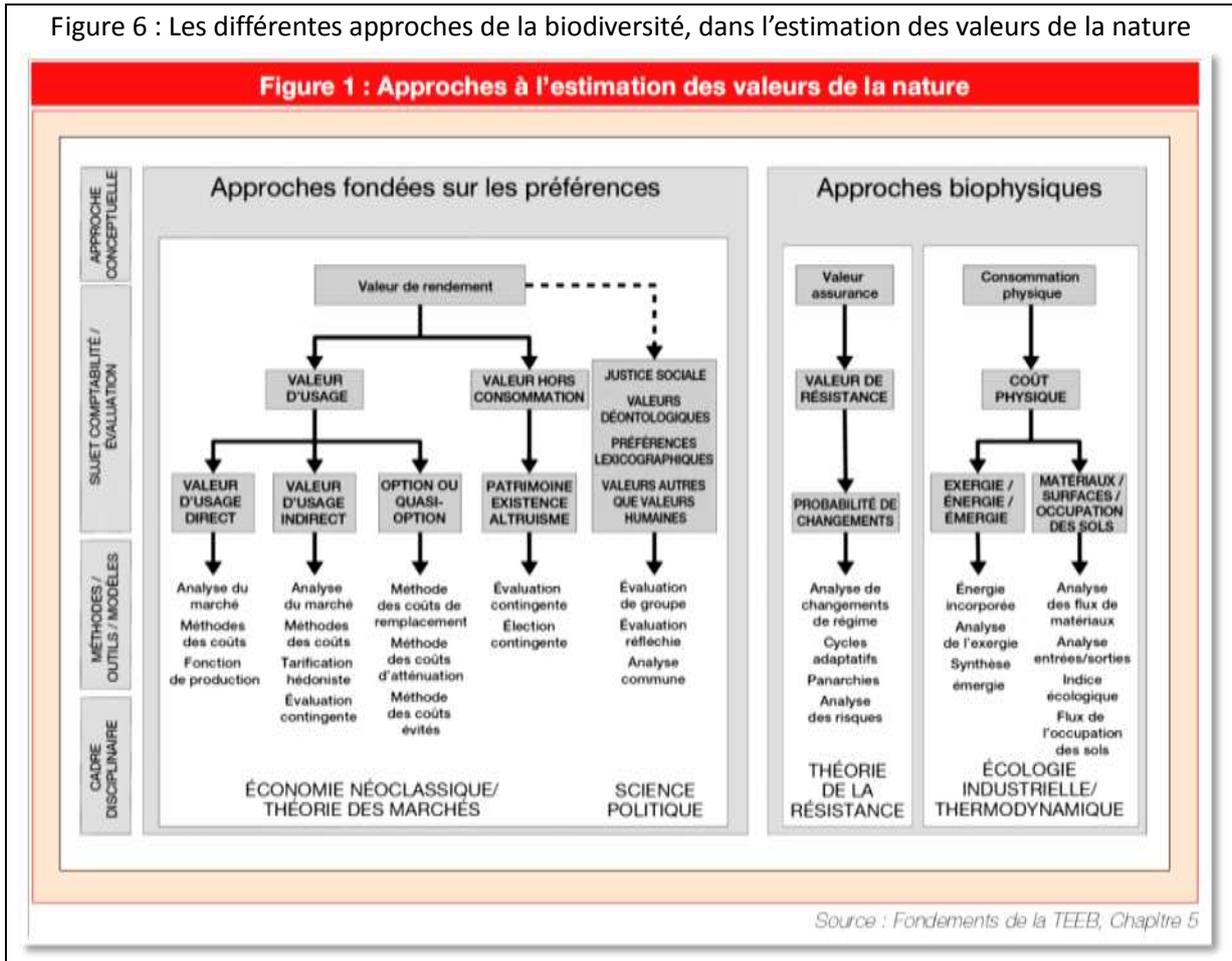
Au final, l'évaluation des fonctions écologiques et des services rendus par les écosystèmes avance quand même, mais elle ne répond pas à l'ensemble des questions soulevées et ne sera jamais exhaustive. La contribution de la biodiversité à ces services est quant à elle encore plus délicate à estimer – notamment par le biais de la monétarisation. Par ailleurs, ces évaluations se cantonnent le plus souvent à une approche utilitariste de la nature, centrée sur les services rendus par cette dernière à l'économie humaine. Or, le rapport du *Millennium Ecosystem Assessment* est à ce propos très explicite : **les raisons pour lesquelles nous désirons protéger la biodiversité détermineront en grande partie le degré de protection que nous choisirons de mettre en œuvre** (MEA Board, 2005).

L'évaluation économique ne permet pas forcément de capturer la richesse écologique de l'écosystème. Une vision instrumentale de la biodiversité, associée à l'approche par service écosystémique, biaise notre estimation des écosystèmes. Si un écosystème est particulièrement riche mais ne rend pas de service à la société humaine, sa valeur monétaire est considérée comme nulle ou quasi-nulle. Ce caractère contingent des évaluations économiques de la biodiversité est une des

nombreuses limites du référentiel anthropocentré dans lequel l'évaluation économique se place aujourd'hui. De ce point de vue, des valeurs non utilitaristes amènent à fixer des objectifs de préservation plus ambitieux que des valeurs utilitaristes.

On peut cependant accepter ces évaluations tant qu'on ne perd pas de vue qu'elles constituent une **aide partielle** à la décision. Les résultats du MEA avaient d'ailleurs vocation à être utilisés par des décideurs publics pour identifier des priorités d'action et des orientations de recherche mais aussi comme outil d'anticipation, de planification et d'évaluation pour la gestion des écosystèmes.

Figure 6 : Les différentes approches de la biodiversité, dans l'estimation des valeurs de la nature



Ces méthodes d'évaluation et de choix qui ne doivent donc en aucun cas être présentées comme l'unique mode rationnel de régulation et de gestion de la biodiversité contribuent à nourrir des processus politiques et démocratiques. Et, comme le souligne Jean Gadrey, « surtout n'oublions pas que les normes et les contraintes exprimées en termes physiques restent les principaux outils de la sobriété dans l'utilisation de la nature »⁶⁶.

❖ Distinguer évaluation économique et évaluation monétaire

La fixation d'un prix d'une espèce, d'un paysage ne peut être qu'approximative et incomplète nous l'avons vu. Ce ne doit d'ailleurs pas être l'objectif premier dans une politique de gestion de la nature pour l'ensemble des raisons émises ci-dessus. A cela s'ajoute la remarque suivante, comme l'observait

⁶⁶ Gadrey J., 2011, *Op. Cit.*

Adam Smith dans le Paradoxe de l'eau et du diamant : *le prix n'est en rien le reflet d'une valeur d'un objet, de n'importe quelle nature, mais la mesure de la distance instantanée entre une offre et une demande, déconnectée des enjeux de rareté.*

L'économiste Jacques Weber propose donc de sortir de la logique simple d'incitations par la fixation de prix : il faudrait selon lui **privilégier des estimations de coûts**, moins contingentes⁶⁷. Au lieu de mettre un prix sur la biodiversité, il est possible de **calculer les coûts de maintenance ou de restauration des services écosystémiques** et d'en **imposer l'intégration aux calculs de coûts et bénéfiques des projets**. Ainsi, au lieu de s'obstiner à fixer un prix aux ressources, il conviendrait d'intégrer les coûts pour maintenir ou restaurer les services dispensés dans la nature afin d'améliorer les analyses coûts-bénéfiques. **LE problème est de basculer d'un monde où la richesse ne se crée QUE sur la dégradation des écosystèmes à un monde où elle se créerait sur la maintenance ou l'amélioration des écosystèmes.**

❖ Dissocier marchandisation* et monétarisation*

La marchandisation implique la monétarisation (cette dernière est la condition nécessaire de la première) mais l'inverse n'est pas vrai. Seule la marchandisation est à rejeter catégoriquement car elle ne peut que signifier **appropriation privée**. En revanche, il peut exister une place pour l'utilisation **d'instruments monétaires de gestion**. Mais, en ce qui concerne la nature, la mise en place de taxes (jugement quantitatif) doit être subordonnée à l'adoption de **normes collectives** ou à des **transformations structurelles**, par exemple sur le type d'infrastructures de transports (jugement qualitatif). Il ne servirait à rien d'imposer une taxe sur le transport par camion si dans le même temps le ferroutage n'était pas organisé et développé.

Le prix n'est pas une unité de mesure : c'est l'expression instantanée entre un consentement à payer et un consentement à recevoir. Les « prix » des ressources naturelles ne sont donc pas des prix économiques (en aucun cas, une écotaxe ne représente une valeur de la nature) mais des **prix « artificiels », politiques**. Un marché des « droits à polluer » est donc un non-sens puisque, même si des échanges de permis voient le jour, il ne s'agira pas d'un vrai marché, ne pouvant exister **sans autorité publique internationale régulationniste et coercitive**. Il sera simplement un instrument de répartition au plus offrant des droits d'usage de l'environnement. La répartition de ces droits doit donc s'organiser non sur des bases économiques mais sur des bases politiques dont la première serait un **droit d'usage égal pour tous les humains**.

Malgré toutes les nuances que nous pouvons y apporter, ces perspectives économiques de gestion de la biodiversité ont en commun un même soubassement : la question de la propriété. Introduire des droits de propriété là il n'y en avait pas peut générer des conflits et perturber profondément l'organisation sociale d'une communauté.

⁶⁷ Pour un aperçu des différentes méthodes d'évaluation, voir : « Annexe 3. Descriptif des différentes méthodes d'évaluation économique des biens environnementaux », in *La place de l'évaluation économique de la biodiversité et des services écosystémiques dans les processus de décision*, Rapport du Travail du Groupe d'Elèves ENV2, Version du 26 Février 2009, Iddri, ENGREF p. 49-51.

Quelles sont les opportunités offertes par l'approche en termes de biens communs * ?

Les travaux d'Elinor Ostrom⁶⁸, économiste et politologue américaine, sur la gouvernance des biens communs proposent une approche nouvelle de gestion des ressources naturelles. Deux constats introductifs amènent l'économiste à reconsidérer les présupposés sur lesquels se fondent l'action collective :

- **une situation de dissipation accélérée (gaspillage) des rentes** (en ressources communes immémoriales, naturelles, mais aussi immatérielles, culturelles, savoir-faire, patrimoine). Beaucoup de personnes et de communautés vendent, par choix ou par nécessité, des biens hérités, fonciers notamment (taux d'actualisation court) ;
- **ni l'État ni le marché** ne réussissent à permettre aux individus une utilisation productive à long terme des systèmes de ressources naturelles.

❖ Le refus d'un piège intellectuel : la tragédie des biens communs

Certains modèles influencent la conception classique de la gouvernance et sont utilisés pour étayer les recommandations stratégiques selon lesquelles des autorités gouvernementales externes devraient imposer des solutions aux individus qui utilisent conjointement des ressources communes. Il s'agit notamment de « **la tragédie des biens communs** » conceptualisée à partir des travaux de Garrett Hardin (« *The Tragedy of the commons* », 1968)⁶⁹ et qui concerne la gestion des ressources environnementales qui n'ont pas de propriété individuelle établie. Elle affirme que la rationalité économique doit a priori pousser des individus qui se partagent un bien en commun, à le surexploiter. Le dilemme du prisonnier (issu de la théorie des jeux), ou la logique d'action collective de Mancur Olson appliquent le même présupposé.

Elinor Ostrom prend le contrepied de ce qu'elle nomme ce « piège intellectuel » : « *au lieu de croire que des solutions institutionnelles optimales peuvent être facilement élaborées et imposées à faible coût par des autorités externes, je soutiens que **trouver des bonnes institutions est un processus difficile, chronophage et propice aux conflits**. C'est un processus qui requiert une information fiable en termes de variables de temps et de lieu, ainsi qu'un vaste répertoire de règles culturellement acceptables* »⁷⁰.

❖ Une analyse approfondie de systèmes alternatifs de gestion des ressources communes

Différents systèmes de gestion des ressources communes durables, auto-organisés et autogouvernés⁷¹ témoignent que, depuis longtemps et presque partout dans le monde, des

⁶⁸ Elinor Ostrom. *Gouvernance des biens communs : pour une nouvelle approche des ressources naturelles*, Révision scientifique de Laurent Baechler, Ed. de Boeck, Planète en JEU, traduction française 2010, 301 p.

⁶⁹ Garrett Hardin, *The Tragedy of the Commons*. Science (13 December 1968), Vol. 162. no. 3859, p. 1243-1248

⁷⁰ *Op. Cit.* p 27

⁷¹ Les exemples développés sont notamment : des tenures communales dans des prairies et forêts de haute montagne (Suisse, Japon), des systèmes d'irrigation (Espagne, Philippines), pêcheries turques, systèmes d'irrigation au Sri Lanka, pêcheries littorales de Nouvelle Ecosse) ou de situations plus complexes (échelle plus vaste comme les nappes aquifères en Californie entre les années 1960 à 1990.

collectivités ont pu et peuvent encore gérer - de manière économiquement optimale - des biens communs, à travers la création d'« *arrangements institutionnels* ». À côté de la gestion par des droits de propriété individuels ou par l'État, il peut ainsi exister un troisième cadre efficace dans lesquels des communautés gèrent collectivement des biens communs. C'est le cœur de sa théorie du changement institutionnel : **ces arrangements permettent la gestion collective de nombreux écosystèmes sans conduire à leur effondrement.**

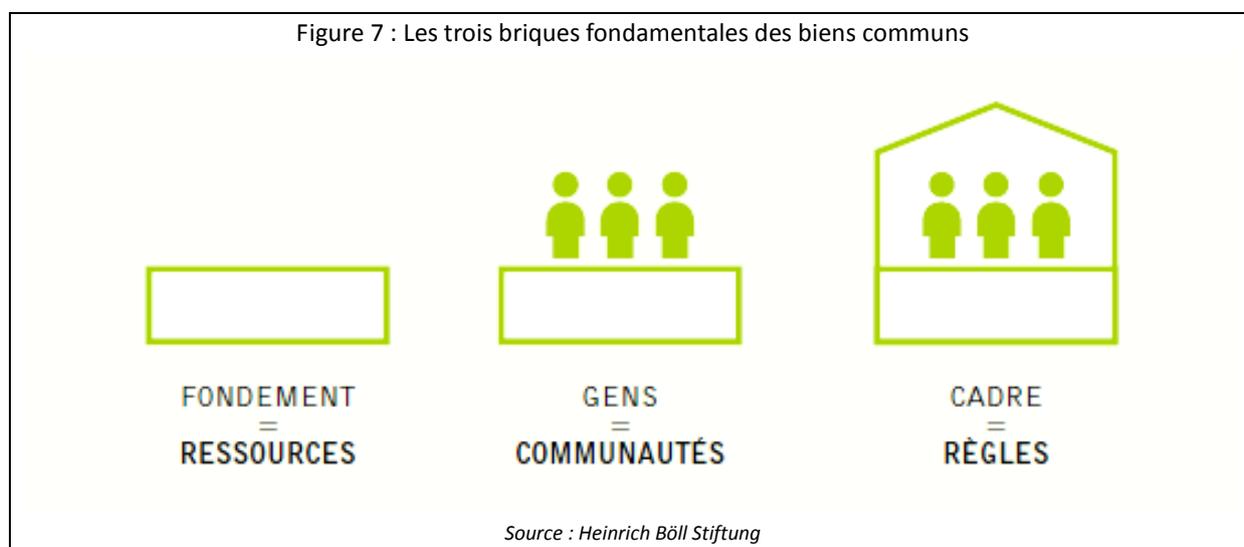
Le changement d'échelle inhérent à cette proposition interpelle la capacité des individus à créer des institutions auto-gouvernées des communs, au-delà du marché et de l'État.

❖ **Éléments de définition des biens communs**⁷²

Les biens communs sont omniprésents dans les sphères sociales, naturelles, culturelles et numériques. En voici une typologie parmi d'autres :

- les milieux naturels (la terre, l'air, la mer, la forêt...);
- les ressources naturelles vitales qu'on utilise pour se nourrir ou se soigner (le patrimoine génétique des plantes, les sols, l'eau...);
- les vecteurs de la connaissance ou de l'apprentissage (la lecture, l'écriture, le patrimoine culturel public, les savoirs traditionnels...);
- les vecteurs relationnels (le langage, la musique, les codes, internet...);
- les modes de production inclusifs (la production en coopération)...

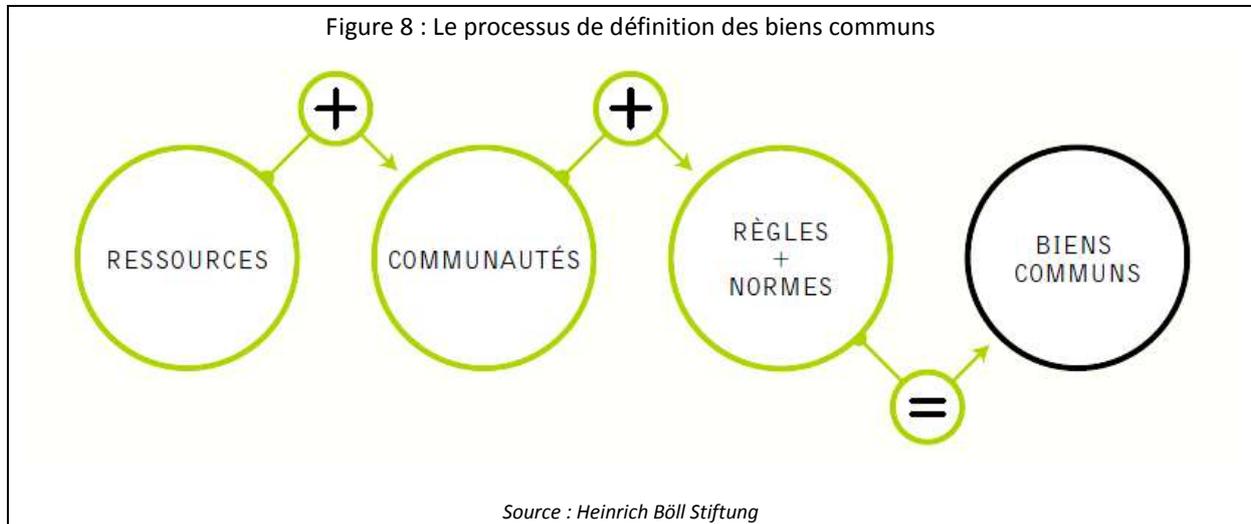
Les biens communs sont constitués de trois briques fondamentales : les *ressources*, les *individus*, et enfin les *règles et normes* qui permettent de lier entre elles toutes ces composantes.



- **La première brique est matérielle** : ce sont les ressources proprement dites (eau, terre, code génétique, connaissances, techniques culturelles...) ainsi que le temps dont nous disposons, et l'espace (l'atmosphère). Chacun dispose d'un droit d'usage ? équivalent.
- **La deuxième brique est sociale** : ce sont les êtres humains qui usent de ces ressources dans un espace social défini. Grâce aux connaissances et techniques développées, les communautés utilisent collectivement les ressources, produisent des innovations : elles transforment ces ressources en biens communs.

⁷² Pour une présentation plus étayée des biens communs, voir le dossier réalisé par la Fondation Heinrich Böll : http://www.boell.de/downloads/20101101_Report_Biens_Communs.pdf

- **La troisième brique est régulatrice** : les règles et les normes qui régissent le rapport aux biens communs. Avec le développement **d'une compréhension commune de ses rapports aux ressources**, la communauté définit des règles et des normes négociées, souvent au terme d'un **processus conflictuel**.



À côté de la gestion par des droits de propriété individuels ou par l'État, il peut exister un troisième cadre institutionnel efficace dans lesquels des communautés gèrent collectivement des biens communs. Toutefois, malgré de nombreux succès, les hommes sont également responsables d'un nombre important d'effondrements environnementaux. Son travail met en avant le **caractère multifactoriel des interactions entre les hommes et les écosystèmes** et le fait qu'il n'y a pas de solution unique capable de résoudre tous les problèmes que pose la gestion commune de ces écosystèmes.

Il est ainsi nécessaire de sortir de la représentation néoclassique *des individus*, supposés capables de maximisation à court terme, mais pas à long terme, pris au piège de leur dilemme sans une autorité externe de régulation, et d'abandonner une vision idéalisée *du marché ou de l'Etat*.

Le changement de regard sur lequel ouvre son analyse donne de la consistance aux **initiatives des individus et aux inventions sociales collectives** pour se situer, non comme « utilisateurs s'adressant au « gouvernement » pour un programme, mais comme acteurs produisant des efforts pour trouver eux-mêmes des solutions viables et équitables à des problèmes complexes au sein d'arènes fournies par les tribunaux, le corps législatif et les autorités locales ». « Si cette étude se limite à **faire voler en éclats la conviction** de nombreux analystes politiques selon laquelle le seul moyen de résoudre les problèmes liés aux ressources communes réside dans l'imposition par les autorités externes de droits complets de propriété privée ou d'une régulation centrale, elle aura atteint un objectif majeur »⁷³, conclut l'économiste.

⁷³ Op. Cit. pp 220-222

Les négociations internationales sur la biodiversité : quelles issues aux conflits économiques et géopolitiques ?

❖ Trois objectifs

L'article 1 de la Convention cadre sur la diversité biologique (CDB) poursuit trois objectifs : la conservation de la diversité biologique, l'utilisation durable de ses éléments et le partage juste et équitable des avantages tirés de l'exploitation des ressources génétiques.

En octobre 2010 se déroulait la Conférence des Nations Unies sur la diversité biologique, à Nagoya (COP10, c'est-à-dire la 10^e conférence des Parties de la CDB). Trois points étaient inscrits à l'ordre du jour :

- La négociation d'un régime international sur l'accès aux ressources génétiques et le partage des avantages issus de leur utilisation (APA) ;
- Le bilan des engagements mondiaux de protection de la biodiversité et la définition de nouveaux objectifs ;
- La mobilisation de moyens financiers dédiés en direction des pays en développement.

❖ Le cœur du débat

L'essentiel des négociations dans le cadre de la CDB porte aujourd'hui sur l'élaboration du Protocole sur l'accès et le partage des avantages (APA), qui cristallise l'affrontement Nord-Sud sur la question de la biodiversité. Pour les pays du Sud, il s'agit d'en finir avec la **biopiraterie**. L'objectif est d'arriver à un contrôle de leurs ressources génétiques mais aussi d'affirmer leur droit à une part de la valeur ajoutée qui se crée dans les Etats du Nord grâce à l'utilisation de ces ressources. Pour les pays du Nord, l'enjeu est de faciliter l'accès aux ressources, de disposer d'un cadre juridique clair pour les échanges internationaux mais aussi de renforcer la protection des innovations via des droits de propriété intellectuelle. Comme nous l'avons vu dans l'historique du traitement de la question de la biodiversité, les pays du Sud ont réclamé dès Johannesburg en 2002 un régime international sur l'APA. Les pays en développement ont donc posé d'emblée leur condition à l'adoption du Plan stratégique. Celle-ci pourra avoir lieu que lorsque les pays développés se seront engagés de façon ferme sur les financements qu'ils apporteront pour mettre en œuvre ce plan d'action.

Les PED renvoient ainsi le débat à celui sur la stratégie de mobilisation des ressources. Le déroulement des négociations a ainsi mené à une cristallisation caricaturale de l'opposition Nord/Sud lors de la conférence de Nagoya en 2010 :

- **Les pays du Nord** ont refusé de préjuger un format définitif d'un Protocole d'APA. Ils renvoient au paragraphe 15 de la CDB précisant que l'accès aux ressources génétiques doit être régi par une législation nationale, plutôt que dans le cadre d'un dispositif international unique. Enfin, les pays du Nord rappellent également l'engagement des Parties (15.2) à simplifier l'accès aux ressources génétiques sans discrimination entre demandeurs étrangers et nationaux.
- **Les Pays du Sud** quant à eux, se prononcent pour un partage des responsabilités, refusant de faire reposer le contrôle uniquement sur les pays fournisseurs. Les pays utilisateurs doivent également se doter d'une législation assurant le contrôle et la traçabilité de la ressource jusqu'au dépôt de brevet et à la commercialisation du produit. Le Protocole devait également permettre, pour les Pays du Sud mais aussi les ONG, de contribuer à la réforme du

droit de la propriété intellectuelle, d'affiner le champ d'application et de consolider les droits des populations autochtones.

Le Protocole a aussi pu être l'occasion de **débattre des compétences des diverses institutions internationales**, dans la mesure où le champ d'application du Protocole percolait de nombreuses initiatives multilatérales qui traitent des ressources génétiques (cf. historique de la gestion de la biodiversité ci-dessus). Ainsi, sur la question des droits de propriété intellectuelle, les débats autour des certificats d'origine géographique pourraient conduire à reconsidérer la législation actuelle des accords sur les droits de propriété liés au commerce (ADPIC) de l'OMC⁷⁴.

❖ **Les résultats de la Conférence de Nagoya : une avancée en demi-teinte**

Globalement, les négociations de Nagoya ont été décrites comme une victoire par une majorité de pays et d'acteurs⁷⁵ avec l'adoption du Protocole (qui offre un cadre juridique à des échanges commerciaux), d'un plan stratégique d'action avec 20 objectifs pour l'horizon 2020 (qui devrait répondre aux deux premiers objectifs de la CDB : conservation et usage durable) et d'un mécanisme financier pour la mise en œuvre de la Convention. Un accord a également été entériné pour la création d'un groupe intergouvernemental d'experts sur la biodiversité (**IPBES**⁷⁶), un équivalent du GIEC pour la biodiversité.

Ces avancées sont sans doute le résultat d'habiles compromis, même si de fortes critiques ont été émises par certains pays et acteurs. Parmi celles-ci :

- **La question des produits et dérivés est éludée** : la notion est vidée de sens dans le texte, qui ne contient aucune obligation au-delà des ressources génétiques stricto-sensu ;
- **L'idée de rétroactivité**, chère aux pays africains notamment qui revendiquaient des indemnités pour l'exploitation de leurs ressources lors de la colonisation, est abandonnée ;
- **La question de la réforme du droit des brevets** n'est finalement pas traitée, le certificat d'origine géographique se limitant à une autorisation à titre informatif dans le texte du Protocole (art. 5.2d et 13.3) ;
- **Les savoirs traditionnels ne sont que partiellement reconnus**. Malgré leur mention dans de nombreux articles, ils sont renvoyés aux législations nationales ou à l'OMPI⁷⁷.
- **La conservation et l'usage durable de la biodiversité**, constituant les deux autres volets de la Convention, sont marginalisés. Le Plan stratégique adopté reste non contraignant et très

⁷⁴ « Un outil juridique a ainsi fait l'objet de nombreux débats. Il s'agit du certificat d'origine géographique et/ou légale qui prouverait que la substance végétale a bien été acquise en conformité avec la CDB et dans les règles de la législation nationale du pays fournisseur (consentement des populations et des États, contrat de partage des avantages), que les demandes de brevet devraient inclure. Certains États ont déjà mis en place leur propre système. Par exemple, début 2010, ce certificat d'origine a été rendu opérationnel dans le droit brésilien des brevets. La reconnaissance internationale du certificat d'origine conduirait à reconsidérer tout le droit de la propriété intellectuelle et les accords sur les droits de propriété liés au commerce (ADPIC) de l'OMC. Surtout, ces revendications introduisent la notion de rétroactivité par rapport à l'entrée en vigueur de la CDB, le 29 décembre 1993 (cas des banques des Centres internationaux de recherche agronomique - CIRA), ou avant sa transcription dans la législation du pays. », in Aubertin C. et Filoche G. , « Le Protocole de Nagoya sur l'utilisation des ressources génétiques : un jeu à somme nulle entre Nord et Sud » ?, Mouvements, mars 2011, URL : <http://www.mouvements.info/Le-Protocole-de-Nagoya-sur-l.html>

⁷⁵ Consulter par exemple l'article du MEDDE : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/L-accord-de-Nagoya.html>

⁷⁶ Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services : <http://www.ipbes.net/>

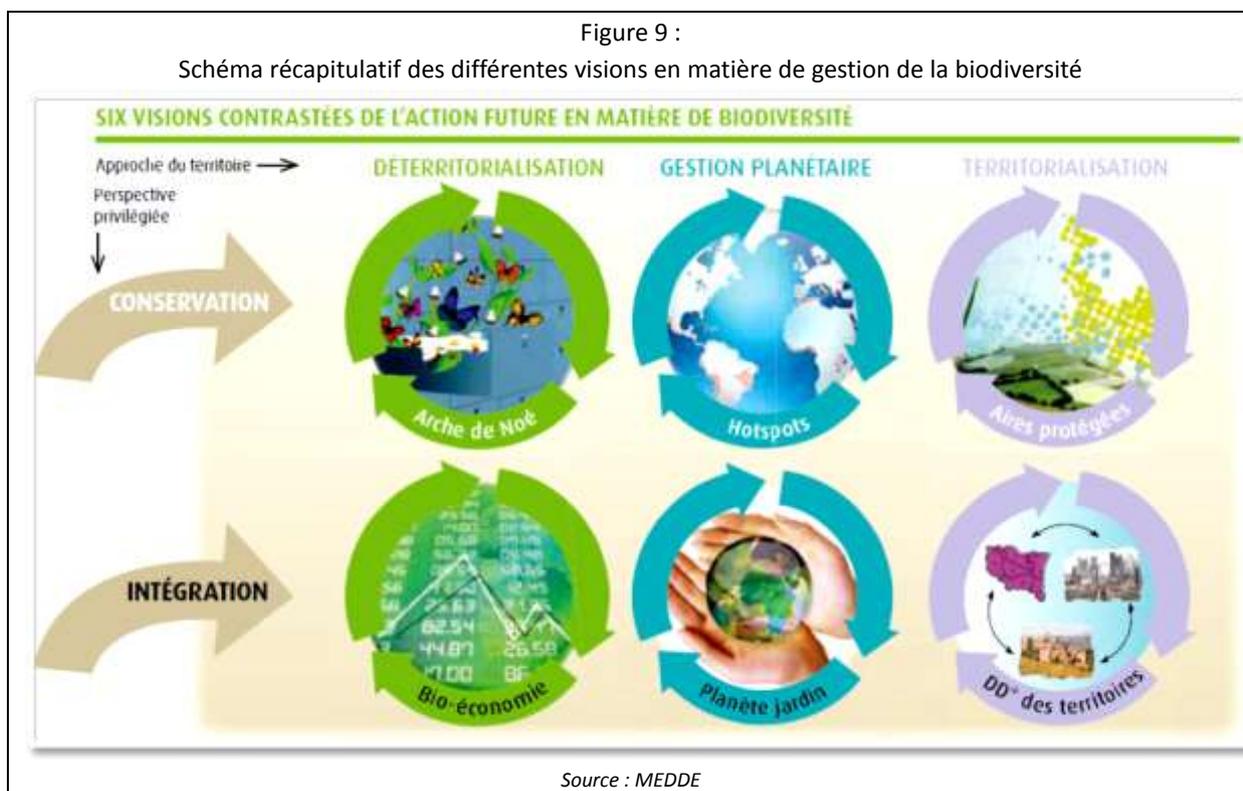
⁷⁷ Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle

vague, les propositions de financement relativement imprécises. Le Protocole a « fait office de diversion »⁷⁸.

Ce texte peut finalement être présenté comme « *un accord commercial et industriel sans lien évident avec la conservation et la préservation de la biodiversité, dont l'élaboration a permis aux pays du Sud de faire entendre leur opposition à la marchandisation du vivant et leur attachement aux droits des populations autochtones.* »⁷⁹

Six visions contrastées de l'action future

Au-delà des enjeux internationaux et des différents intérêts étatiques exprimés dans le cadre des négociations internationales sur la biodiversité, la question de la gestion de la biodiversité fait l'objet de divergences en termes de politiques publiques. Le Ministère en charge du développement durable, dans La lettre *Horizons 2030-2050* n°3⁸⁰ consacrée à la biodiversité met en exergue ces divergences de visions relevées dans les nombreux scénarios qui ont été récemment élaborés sur le thème de la biodiversité. Six visions contrastées de l'action publique sont mises en avant, plus ou moins territorialisées, et plus ou moins intégrées.



Ces trois approches s'inscrivent dans une perspective de conservation :

⁷⁸ in Aubertin C. et Filoche G., *Op. Cit.*

⁷⁹ In Aubertin C. et Filoche G., *Op. Cit.*

⁸⁰ MEDDE, Lettre *Horizons 2030-2050*, Quels scénarios réalistes pour préserver la biodiversité d'ici à 2030 ? - Numéro 3 - Septembre 2010, pp. 11-13

❖ L'Arche de Noé

L'Arche de Noé s'inscrit dans une perspective conservacionniste : « *garantir sur une très longue période la conservation du patrimoine génétique mondial des espèces, et éventuellement d'un échantillon d'écosystèmes, par des mesures coordonnées et systématiques de sauvegarde ex situ* »⁸¹. Il consiste concrètement à isoler la nature des activités humaines pour mieux la protéger : création de banques de gènes spécialisées, reconstitution artificielle d'écosystèmes entiers où des espèces et des milieux fonctionnent en circuit fermé. Au niveau de la gouvernance, ce scénario nécessite une organisation mondiale très centralisée, la mobilisation de moyens d'inventaire et de stockage sophistiqués et un accès très ouvert aux ressources génétiques.

Une telle approche a des effets à la fois positifs et négatifs : « *réduire la vulnérabilité aux aléas extérieurs mais, en même temps, freiner ou stopper les dynamiques d'évolution* »⁸².

❖ La priorité aux hotspots

Comme indiqué en début de chapitre, les hotspots concentrent un nombre exceptionnel d'espèces endémiques, dont beaucoup sont classées par l'UICN comme étant « en danger critique d'extinction ». Cette approche propose de se concentrer sur la **conservation** de la biodiversité sur ces territoires.

Une telle orientation serait importante pour la France et consisterait à privilégier la région méditerranéenne, ainsi que les territoires d'Outre-mer (Nouvelle-Calédonie, Polynésie, Réunion et Guyane). Cependant, on peut émettre quelques réserves quant à l'efficacité d'une telle approche, notamment à cause de l'interdépendance de ces hotspots avec l'extérieur et à la potentielle démobilitation hors des espaces concernés, engendrée par cette politique de confinement. De plus ce scénario suppose l'adhésion des populations locales et des systèmes équitables de compensation et de partage des coûts.

❖ Le réseau d'aires protégées

Cette approche s'inscrit dans la veine historique de la gestion de la biodiversité en y ajoutant la notion de réseau et d'infrastructures écologiques : maintenir les espaces à fort potentiel écologique dans toute leur diversité et organiser leur mise en réseau et leur continuité à travers des corridors permettant les échanges. « *Une large part de la politique européenne ou française se situe dans cette perspective, avec comme objectif l'extension à 20 % de l'espace des zones protégées, le développement des protections fortes (dont de nombreux projets d'aires marines) et, suite au Grenelle de l'environnement, la mise en place d'une « trame verte et bleue » assurant les continuités nécessaires* »⁸³.

Une telle approche nécessite la mise en place de mécanismes de financement, de compensations, de péréquation permettant de répartir équitablement les coûts (et bénéfices) de la protection. Cependant, les mêmes limites évoquées dans la vision précédente se posent, intrinsèques à toute approche en termes de conservation.

⁸¹ Op. Cit. p.11.

⁸² Ibid.

⁸³ Op. Cit. p.12

Ces perspectives nous semblent aujourd'hui avoir témoigné de leurs limites et ne correspondent pas à l'approche intégrée et systémique des ressources naturelles que nous souhaitons aborder dans nos travaux.

Notre attention est donc portée plus précisément sur les trois approches suivantes :

❖ La bioéconomie⁸⁴

Le principe de cette approche est celui d'une *économie de la nature*, qui permettrait d'intégrer les coûts des services écosystémiques actuellement gratuits. La fixation d'un prix à la nature permettrait ainsi une régulation efficace de la biodiversité. « Elle s'appuie sur deux logiques qu'il s'agit d'articuler efficacement :

- **Le développement et la gestion soutenable des multiples activités reposant sur une base de ressources biologiques** : agriculture, pêche, aquaculture, chimie verte, biocarburants, bio-énergie, pharmacie... On estime qu'en Europe ces activités représentent 1 500 milliards d'euros annuels et 22 millions de personnes⁸⁵ ;
- **La valorisation des fonctions ou services rendus gratuitement par la nature et l'intégration de ces valeurs dans les coûts de production ou les prix** dans la perspective de création de nouveaux marchés éventuels : rappelons que ces services ont été récemment estimés à 23.500 milliards d'euros par an ! »⁸⁶

Une telle approche nécessite évidemment la combinaison de droits de propriété bien définis et d'instruments économiques (taxes, marchés de droits, systèmes de compensation) afin d'internaliser les coûts externes ou de structurer l'offre et la demande de nouveaux services. Outre les controverses actuelles concernant l'évaluation économique de la nature (présentées ci dessus », l'articulation entre deux logiques potentiellement contradictoires dans le temps et l'espace, à la fois de conservation et d'exploitation des bénéfices tirés de la nature, pourrait poser de nombreuses difficultés dans une gestion de long terme de la biodiversité. De plus, cette approche très centralisée, prêtant peu d'attention aux particularités des territoires et aux enjeux démocratiques ne va pas de soi.

❖ La planète Jardin

Gérer la planète comme un jardin correspond au scénario « techno-garden » du Millennium Ecosystem Assessment, l'objectif de la cinquième vision. Elle nécessite un véritable changement culturel, de passer d'une attitude de *consommateur* de nature à une attitude de *soin* envers celle-ci. Cette vision est également basée sur les technologies environnementales et une ingénierie très avancée (systèmes d'observation sophistiqués, génie génétique, génie écologique, technologies vertes et écoefficientes, urbanisme végétal, agriculture biologique, écologie industrielle...).

« Très tournée vers le futur, [cette vision] a l'avantage de montrer que la biodiversité peut être un formidable moteur pour l'innovation dans tous les domaines, (...) mais on en voit aussi les risques : le

⁸⁴ Pour en savoir plus : « *Étude sur la contribution du biomimétisme à la transition vers une économie verte en France : état des lieux, potentiel, leviers* », Commissariat général au développement durable Études et documents - Numéro 72 - Octobre 2012.

⁸⁵ Estimation tirée du rapport de la Commission européenne préparatoire à la conférence de Nagoya : *Quel avenir pour la protection de la biodiversité dans l'UE ?*, janvier 2010

⁸⁶ *Op. Cit.* p.12

besoin d'investissements lourds et sophistiqués, inaccessibles aux pays ou territoires les plus pauvres ou les moins denses, et les possibles effets en retour d'une artificialisation progressive et d'une maîtrise trop exclusivement technique de la nature. »⁸⁷

❖ Le développement durable des territoires

Cette dernière vision propose d'inscrire la gestion de la biodiversité dans une logique de développement durable territorial et d'une valorisation intelligente du capital naturel. Elle se caractérise par :

- le choix de privilégier **l'échelle territoriale** et le souci d'adapter les actions à mener à la spécificité de chaque territoire, sans exclusivité ;
- la volonté **d'aborder la biodiversité dans toutes ses dimensions** – écologique, économique, sociale ou culturelle – sans privilégier l'une ou l'autre et en mettant en permanence l'accent sur son intégration en amont dans les politiques sectorielles : politiques foncières et d'aménagement du territoire, développement économique mais aussi qualité de vie des habitants et réduction des inégalités écologiques.

Le développement durable des territoires, qui correspond à une gestion des biens communs, accorde une place centrale à l'appropriation de la nature, l'accès au public et la gouvernance participative. La gestion de la biodiversité devient un problème d'intérêt commun, qui doit être débattu entre toutes les parties prenantes.

On peut redouter qu'une telle approche soit trop tributaire des aspirations et des priorités de chaque territoire, cependant un dispositif parallèle international permettant un ajustement global des efforts à réaliser peut être imaginé, avec des relais aux échelles intermédiaires de type nationale et régionale.

Cette approche est la seule qui répond à notre hypothèse centrale selon laquelle la

POINT D'ETAPE

Récapitulatif des controverses sur la biodiversité

L'érosion de la biodiversité

Globalement, **l'érosion de la biodiversité en tant que telle n'est pas l'objet de controverses**. Les instruments de mesure et la connaissance actuelle de la biodiversité ne permettent pas de donner le rythme exact d'érosion, mais un consensus existe entre les différentes communautés scientifiques sur l'état et les tendances de la biodiversité pour lesquels le *Global Biodiversity Outlook* fait référence.

Les causes de cette érosion font également l'objet d'un large consensus, tout au moins au niveau

⁸⁷ *Ibid*

global :

- *la modification des habitats*
- *la surexploitation*
- *les pollutions, locales et globales (pollution des nappes phréatiques, des mers et océans ; rejets industriels...)*
- *les espèces exotiques envahissantes*
- *les changements climatiques.*

Comme on le constate, la liste des incertitudes, opportunités ou menaces nouvelles qui pourraient affecter la biodiversité à l'horizon 2030 est longue. Le constat met en avant notamment :

- « les conséquences pour la biodiversité d'une **compétition accrue sur les ressources** que sont la forêt, la mer et le sol (à la fois comme espace et comme humus) ;
- les **impacts du changement climatique et de la transition énergétique future**. Si, à l'horizon de la fin du siècle, ce dernier facteur sera sans doute déterminant, les scientifiques n'en sont encore qu'au tout début de l'évaluation de ses conséquences pour la biodiversité future et les stratégies d'adaptation nécessaires restent à élaborer. »⁸⁸

La gestion de la biodiversité

Les controverses concernant les moyens d'y remédier et les ambitions à fixer sont autrement considérables. En premier lieu parce que les instruments de gestion dont nous disposons sont complètement prisonniers de nos représentations culturelles, qui conditionnent les approches philosophiques, économiques et politiques.

Des approches contrastées de la relation Homme-Nature

Conservatinnisme : préservation de la diversité biologique via :

- la conservation de la diversité génétique, grâce à une protection *in situ* dans le milieu naturel (ex : dans une réserve naturelle), une protection *ex situ* (ex : en jardin conservatoire, en élevage conservatoire), avec éventuellement culture *in vitro* ou conservation dans une banque de graines ou de gènes.
- à l'échelle du territoire, la délimitation d'une réserve naturelle, d'un parc naturel régional, national ou transnational.

Intégration : une approche intégrée et systémique de la nature qui tient compte des besoins socioéconomiques et environnementaux. L'objectif est ici de contribuer à enrayer l'érosion de la biodiversité, dans son interaction avec l'homme et les différents milieux (urbains, agricoles, littoraux,..). Il sera essentiel d'encourager une gestion environnementale participative

Economie : quels instruments de régulation ?

Évaluation économique des services écosystémiques :

Cette position découle de l'économie de l'environnement : intégration par les prix des

Biens communs : une gestion locale, par une communauté d'utilisateurs qui définit collectivement les règles d'usages de la ressource, peut permettre de mieux protéger

⁸⁸ Ibid, P.9-10

externalités négatives. L'inclusion des services rendus par la nature dans l'économie marchande permettra de remédier aux dégradations dues aux activités humaines et subies par l'environnement. La raréfaction des ressources et leur détérioration exigent en effet, dans le cadre du libéralisme économique, une intensification de la gestion privée, l'attribution d'un prix censé représenter la « valeur » de la nature.

Ressources génétiques : quel partage des avantages issus de leur utilisation ?

L'historique de la gestion de la biodiversité ainsi que les négociations internationales initiées par l'ONU dans le cadre de la Convention sur la diversité biologique témoignent des divergences de points de vue sur les politiques à adopter, et de manière plus générale d'un conflit entre les pays « vides » et les pays « pleins ».

Pays du Nord : protéger les droits de propriété intellectuelle

- faciliter l'accès aux ressources,
- disposer d'un cadre juridique clair pour les échanges internationaux,
- renforcer la protection des innovations via des droits de propriété intellectuelle.

Pays du Sud : en finir avec la biopiraterie

- recueillir les bénéfices de l'exploitation par les pays du Nord des ressources naturelles : reconnaissance des savoirs locaux et pratiques associés,
- clarification de la question des produits et dérivés,
- reconnaissance de la rétroactivité : mettre en place des indemnités pour l'exploitation de des ressources lors de la colonisation,
- réforme du droit des brevets.

Quelles régulations ? A quelles échelles ?

Que l'intégration de prix de la nature puisse réussir à court terme, localement, et à un niveau microéconomique, est évident. Mais cette orientation n'est pas sans poser de nombreuses interrogations.

Parler de biens communs au lieu de « ressources » pourrait en effet permettre de trouver un langage commun entre des cultures différentes : le terme « ressource » est marqué en effet par l'extériorisation et l'instrumentalisation de la nature, par un anthropocentrisme, caractéristique de la civilisation occidentale. Comme il ne s'agit pas d'opposer à cet anthropocentrisme un biocentrisme, le terme « bien commun », en insistant sur le rôle des communautés humaines et sociales, peut permettre un dialogue des civilisations au lieu de leur affrontement, à l'échelle internationale.

❖ Les enjeux pour la France

Concrètement pour la France, la transition vers une économie écologique impliquera **d'intégrer les enjeux liés à la protection de la biodiversité** dans les politiques sectorielles et de réalisation de la nouvelle stratégie nationale pour la biodiversité:

Améliorer la protection des espèces et la gestion de l'érosion de la biodiversité

- Grâce à ses DOM-COM et le pourtour méditerranéen, la France est un des hotspots de la biodiversité ; il en résulte un enjeu fort de gestion de son érosion sur ces zones géographiques ciblées. L'application d'une législation (art. 15 de la CDB) qui les protège du pillage est également indispensable ;
- Le degré et la vitesse **d'anticipation des conséquences du réchauffement climatique** sur le territoire français et la biodiversité en particulier seront déterminants pour la mise en place de systèmes de protection et de gestion de la biodiversité.

Instaurer un équilibre entre espaces urbains et ruraux

- Une part croissante de la population métropolitaine s'installe **dans les zones écologiquement les plus riches** (sud-est, littoral...). Cette concentration géographique engendre des pressions importantes sur des milieux fragiles qu'il conviendra de réguler ;
- Dans un monde de plus en plus urbain, se posent les questions de **l'intégration de la nature dans la ville post-carbone de demain** ainsi que de la protection de la nature ordinaire dans le cadre d'une patrimonialisation de la nature, de paysage, de cadre de vie ;
- **L'espace urbain doit être pensé dans son interaction avec l'espace rural** : quelle place future des espaces ruraux – et du tourisme rural ou de nature – dans la politique d'aménagement du territoire des vingt prochaines années ?
- La prise en compte de la biodiversité dans la mise en œuvre du **futur schéma d'infrastructures prévu dans la loi Grenelle 1** (2 500 km de voies ferroviaires d'ici à 2025) et son articulation avec la trame verte et bleue, en cours de réalisation.

Le développement des biotechnologies et de la bioéconomie

Les décisions qui seront prises en matière de développement des biotechnologies et de la bioéconomie pourront permettre des avantages environnementaux nets à partir de 2030, même si leur durabilité ne va pas encore de soi.

Le partage des avantages : la politique européenne

La question fondamentale concernant la biodiversité sera celle du partage des ressources et de l'équité, tant en termes d'accès que de répartition des avantages. Il faudra ainsi approfondir les possibilités de partenariats pour que possesseurs de nature et possesseurs de technique puissent travailler ensemble.

Ici, le cadre de régulation est l'Europe fondamentalement, qui devient, avec la concurrence accrue sur les ressources, l'échelon de référence.

Chapitre 2 : Les ressources minérales

Parmi les substances extraites du sous-sol, les matériaux de construction (la pierre de taille, la lauze, la brique, le ciment, le plâtre, les sables et granulats...), les minéraux utiles pour l'artisanat et l'industrie (de l'obsidienne ou du silex à la chaux ou la silice) et les métaux (du cuivre ou du fer au zinc ou au titane...) ont pris très tôt une place importante. Il faut dès à présent bien distinguer les ressources minérales constitutives de la composition même de la planète solide et les combustibles fossiles d'origine organique, qui découlent du vivant et qui ne sont présents que dans la partie superficielle de la croûte terrestre. Ainsi, les ressources énergétiques fossiles doivent-elles faire l'objet d'une approche spécifique concernant la relation de l'homme à la géosphère. Dans ce travail, nous avons opté pour que l'ensemble des ressources énergétiques (fossiles, nucléaires et renouvelables) fassent l'objet d'un traitement spécifique (chapitre 3).

D'une manière générale, l'augmentation de la production des substances minérales terrestres a suivi au cours du dernier siècle une croissance quasi-exponentielle, par étape, chaque phase de croissance étant toutefois suivie par un palier.

La première correspond à la période du début du 20^e siècle jusqu'à la seconde guerre mondiale : sur cette période de 40 ans, le total extrait du sous-sol passe de 200 à 800 millions de tonnes.

Les « 30 glorieuses » marquent un second pallier de croissance – en occident et en URSS – pour atteindre 2.500 millions de tonnes au moment du premier choc pétrolier.

Après une période de croissance modérée, liée à la chute du modèle soviétique et à la résorption des stocks devenus disponibles, la production repart en forte hausse à partir du milieu des années 2000, essentiellement tirée par les pays émergents (Chine, Inde, Brésil...). Il faut souligner que la croissance est à la fois quantitative et qualitative : on observe une diversification des substances utilisées dans l'industrie, au point de couvrir aujourd'hui la quasi-totalité du tableau de Mendeleïev⁸⁹.

Dès lors, devant cette reprise d'une demande exponentielle, en quantité et en diversité, on est en droit de se poser les questions de la faculté qu'aura la planète à répondre à ces sollicitations et de la façon dont ces ressources seront gérées.

Ressources et réserves, complexité de notions géologiques et économiques

Pour approcher la question de la limite des ressources, il convient de revenir sur quelques notions géologiques, notamment les questions de **potentiel**, de **ressources** et de **réserves**.

⁸⁹ Le tableau périodique des éléments, également appelé table de Mendeleïev, classification périodique des éléments (CPE) ou simplement tableau périodique, représente tous les éléments chimiques, ordonnés par numéro atomique croissant et organisés en fonction de leur configuration électronique, laquelle sous-tend leurs propriétés chimiques.

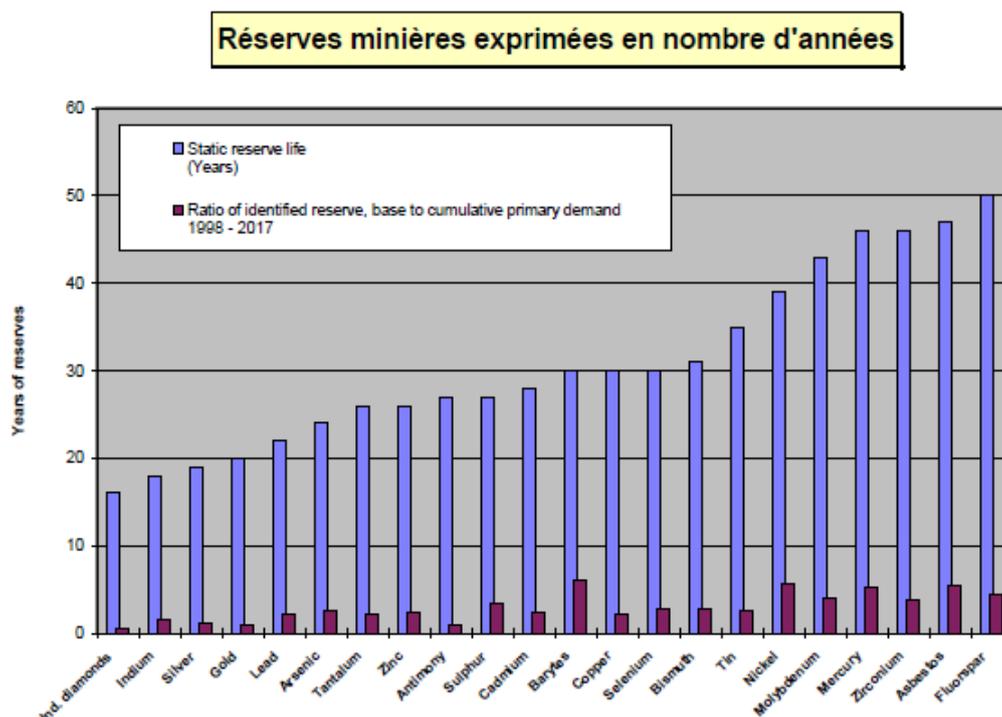
Le *potentiel* correspond aux substances que l'on est susceptible de trouver au sein de la lithosphère⁹⁰ dans un contexte géologique donné.

Les *ressources* correspondent à la fraction géologiquement identifiée de ce potentiel. Elles permettent de délimiter la zone dans laquelle se situe la substance recherchée, et de donner une première image quantitative en termes de volumes et de teneurs.

Par contre, la notion de *réserve* est de nature économique et correspond à la fraction des ressources exploitable économiquement. Bien entendu, cette notion est sujette à fluctuation en fonction de l'évolution du prix de la matière première et des coûts d'extraction et de traitement, eux-mêmes dépendant des coûts de l'énergie et des évolutions technologiques. Néanmoins, on distingue communément les **ressources prouvées** (ou démontrées), les **ressources probables** (ou inférées) et les **ressources possibles** (ou accessibles).

On peut ainsi établir, pour les différentes catégories de ressources minérales – métaux, minéraux industriels et matériaux de construction – des données quantitatives concernant les tonnages disponibles au niveau d'un pays, d'une région, et éventuellement de la planète. A partir de ces données, on peut exprimer les réserves en nombre d'années de production.

Figure 10 : Réserves minières exprimées en nombre d'années de production pour quelques métaux sélectionnés



Source : USGS

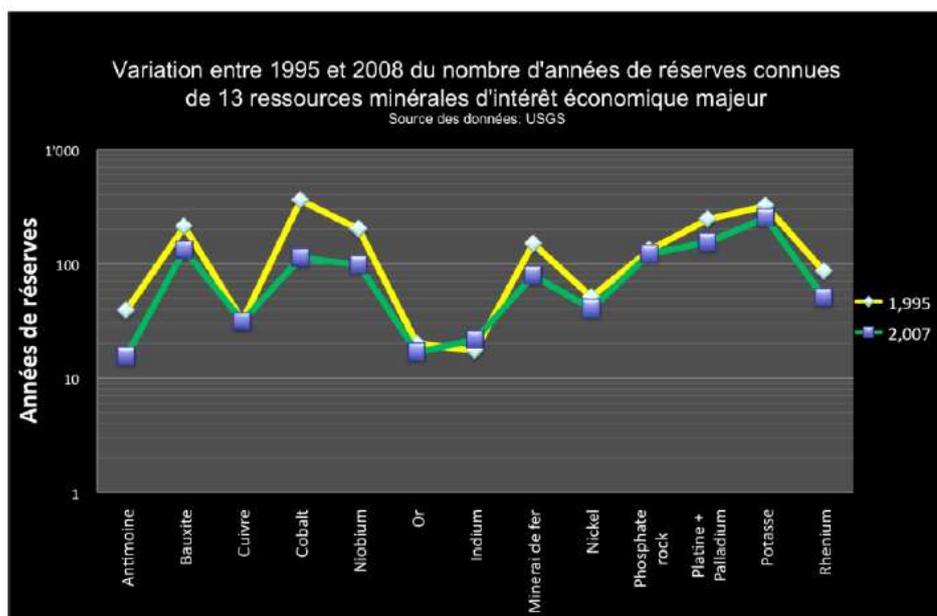
(dans l'ordre : diamant, Indium, Argent, Or, Plomb, Arsenic, Zinc, Antimoine, Soufre, Baryte, cuivre, Selenium, Bismuth, Etain, Molybdène, Mercure, Zircon, Asbeste, Fluorine)

⁹⁰ La lithosphère est la partie supérieure, rigide, des enveloppes constituant la terre solide ; son épaisseur atteint plusieurs dizaines de kilomètres dans les continents ; elle est plus ordinairement appelée « croute continentale »

Mais bien entendu, au fur et à mesure que l'on développe ce raisonnement, on en mesure les limites. Outre la forte dépendance des cours de ces substances, les chiffres varient également en fonction du taux de croissance de la demande, qui amène à revoir complètement la notion « d'années de réserves ». Mais surtout, c'est le degré de connaissance géologique d'un territoire – on est encore loin d'avoir une image exacte de la géologie de la planète ! - qui est déterminant dans l'établissement des données de potentiels et de ressources, elles-mêmes spécifiques aux réserves. Les conditions économiques, technologiques et d'accessibilité influent sur le niveau en matière première (tonnage et teneur du gisement notamment) jugée acceptable pour envisager une exploitation. En outre, la mise en œuvre des politiques de développement durable – qui devrait s'imposer systématiquement aussi dans le secteur minier – implique la prise en compte des dimensions environnementales et sociales dès l'amont des projets, ce qui modifie complètement la donne pour l'exploitant. En effet, la « rente minière » ne peut plus aujourd'hui être considérée du seul point de vue de l'entreprise exploitante (dans sa seule relation avec l'Etat qui lui en concède l'exploitation), mais au niveau de toute la chaîne des parties prenantes du projet, qu'il s'agisse des populations locales, de la préservation de la qualité de leur environnement et de l'amélioration de leur qualité de vie, ou d'un point de vue global (par exemple la compensation de l'effet de serre induit).

Au cours de ces dernières années de forte croissance de la demande, le nombre d'années de réserves semble avoir baissé pour la plupart des ressources minérales, comme en témoigne la figure 11 ci-dessous. Mais ce phénomène peut être expliqué par la relative faiblesse des investissements d'exploration sur la même période ; celle-ci découle de la faiblesse des cours des matières premières sur 20 ans (1986-2006) ; la reprise des travaux d'exploration est relativement récente – moins de 5 ans – qui découle de la récente hausse des cours et n'a pas encore fait ressentir ses effets.

Figure 11 : Evolution du nombre d'années de réserves connues pour 13 ressources minérales entre 1995 et 2008



Source : USGS

Pour dresser une image quantitative des limites des ressources minérales, il faudrait disposer d'une connaissance un tant soit peu exhaustive de leur répartition sur la planète. Or on est loin de disposer d'une vision assez fine de la géologie pour avoir une image quantitative d'ensemble. On ne dispose

d'études quelque peu exhaustives que pour quelques métaux ou éléments, et la connaissance des ressources est très inégale selon les régions du monde⁹¹. Tous les gisements potentiels ne sont pas identifiés, et les études de faisabilité manquent sur de nombreux sites. En outre, tous les sites d'extraction sont loin de bénéficier des mêmes avancées technologiques et environnementales.

Classification des ressources minérales et enjeux de durabilité

Nous proposons de distinguer 5 types de ressources minérales, dont les caractéristiques varient considérablement en termes de durabilité.

Les matériaux de construction⁹²

Il s'agit de **pondéreux**⁹³. Compte tenu des coûts de transports, on a intérêt à les produire à proximité des sites de consommation. Ils sont souvent disponibles en abondance du point de vue de la ressource géologique (même si certains pays ou régions dépourvus de couches sédimentaires appropriées peuvent accuser un déficit en capacité de production de ciment ou de plâtre). Ces substances constituent néanmoins un paradoxe lié aux tendances de l'urbanisme. Les mégapoles sont des lieux de forte demande, qui repoussent mécaniquement les limites des zones de production à des distances toujours plus grandes. **C'est une question soluble par de nouvelles approches de l'usage de l'espace souterrain, qui combinerait création d'espace et production de matière première, et par le recyclage des matériaux de démolition** (voir *Revue Géosciences, Géologie urbaine, 2009*).

Les minéraux industriels⁹⁴

Il s'agit de l'ensemble des minéraux naturels utilisés pour leurs propriétés physiques ou chimiques naturelles. Ces substances-là sont aussi issues de formations géologiques qui ne se caractérisent pas par leur rareté, mais par **des propriétés plus ou moins favorables à leur exploitation : accessibilité, géométrie du gisement, pureté** notamment. C'est un **domaine des ressources minérales ouvert aux innovations**, qu'elles soient technologiques et industrielles ou qu'elles portent sur la dimension géologique de la ressource. Comme dans le cas précédent, on ne se heurte pas généralement ici à des problèmes de finitude des ressources géologiques, mais plutôt à des questions d'accessibilité ou de coût de transport ou de traitement. Plus il faudra creuser profondément pour les obtenir, plus évidemment les coûts augmenteront. L'augmentation des coûts d'accès à ces ressources sera une préoccupation qui sera prégnante bien avant leur rareté.

⁹¹ Ainsi a-t-on cessé toute activité d'exploration minière en France depuis 40 ans alors que les modèles scientifiques et les technologies ont considérablement évolué ; l'exemple des pays scandinaves, où l'on observe actuellement une vive reprise de l'activité minière, nous montre l'efficacité d'une politique publique de développement des connaissances.

⁹² Pierre de taille, graviers, sables, argile, calcaire et marne pour le ciment et gypse pour le plâtre.

⁹³ C'est-à-dire de matériaux de faible valeur (le prix à la tonne est parmi les plus bas) mais qui sont utilisés en grande quantité (masses et volumes importants)

⁹⁴ Dans cette catégorie on trouve le quartz (pour la silice), le graphite (pour le carbone), la baryte (comme adjuvant pondéreux), le kaolin et les argiles (pour la céramique et les terres cuites), la calcite (pour le blanc ou la chaux), le sel gemme et la potasse, le feldspath (pour la verrerie), le talc, la fluorine, les zéolites, l'amiante, et bien d'autres minéraux moins répandus choisis pour leurs propriétés particulières. Il peut s'agir de roches, comme la ponce, l'obsidienne, la perlite, la craie, certains trachytes...

Les ressources minérales utilisées pour l'agriculture

Cela porte essentiellement sur les adjuvants minéraux liés à la disponibilité de terres plus ou moins fertiles ou surexploitées. Il est nécessaire de distinguer cette catégorie, cruciale en termes de développement durable (H.F. Wellmer, 2010) dans la mesure où elle joue un grand rôle en matière de production agricole et d'alimentation humaine. **La disponibilité des terres est un élément essentiel à prendre en considération.** Avec l'accroissement de la population et le développement des villes, l'artificialisation des sols, on assiste à une **réduction régulière des espaces naturels et des surfaces agricoles.** Avec 11% des surfaces émergées consacrées à l'agriculture, il faut compter sur une intensification des cultures, de nouvelles pratiques d'agro-écologie et d'agroforesterie, et sur un usage plus répandu d'intrants nécessaires à la croissance des végétaux. Il s'agit essentiellement de l'azote, de la potasse et du phosphore (N, K, P). Ces minéraux très demandés sont relativement fréquents dans la croûte et les enveloppes externes de la terre.

- **L'azote**, disponible dans certains engrais minéraux d'origine biologique, est aussi un des principaux composants de l'air. Mais la fabrication des engrais azotés nécessite un apport important d'énergie. Les engrais azotés sont ainsi devenus une source majeure de préoccupation, actuellement disponibles qu'en très petite quantité, les prix mondiaux ayant plus que doublé au cours de la seule année passée.
- Le **potassium** est un des composants de l'eau de mer, et là encore, la production d'engrais de potasse renvoie à une question d'énergie. Néanmoins, il existe des gisements de sel de potasse (KCl ou sylvinite) qu'il est plus avantageux d'exploiter. Il s'agit de formations géologiques qui ne sont pas rares, mais les meilleurs gisements sont souvent situés à proximité des zones de consommation (c'est notamment le cas en Europe).
- Le **phosphore** est par contre un intrant agricole – également très demandé dans l'industrie, chimique notamment – dont l'approvisionnement repose sur des formations géologiques, assez abondantes et ne posant pas de problème de limitation des ressources à long terme, si ce n'est en termes de qualité, d'impact environnemental (substances chimiques indésirables en agriculture associées dans les gisements, comme l'uranium) et de coûts d'extraction et de traitement.

Néanmoins, c'est un ensemble de substances minérales auxquelles il est prêté une attention insuffisante, en termes de développement durable, et sur lequel les tensions, en termes de prix et même de durabilité physique, pourraient s'avérer plus fortes que sur les métaux sur lesquels se concentrent aujourd'hui les réflexions stratégiques (J. Varet, Futuribles, 2012).

Les métaux

Ils font l'objet de l'essentiel du développement de ce chapitre. Comme nous le verrons, ils sont présents à toute profondeur dans la lithosphère de sorte que l'on ne se heurte pas à un problème de limite physique les concernant, mais à des difficultés géopolitiques d'accès concernant les gisements les meilleurs et de coût pour les gisements de qualité plus médiocre (teneur, profondeur, risques dans l'extraction, distance d'approvisionnement...). En outre, **les métaux sont tous recyclables, voire réutilisables.** Là encore, **la problématique pour l'avenir est davantage celle d'une augmentation des coûts que celle de la finitude.**

Une distinction des catégories de métaux considérés comme stratégiques et en particulier des terres rares ou des métaux du groupe du platine, est indispensable : ces métaux nécessités par les hautes technologies, utilisés notamment dans les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) et l'aérospatiale permettent de nouvelles applications dans le bâtiment, les transports et les technologies requises par l'électronique, mais aussi par la plupart des technologies vertes. Ils sont déterminants pour l'évolution de secteurs structurants au regard de l'hypothèse posée d'avancée en termes de moyens de communication, de production d'énergie renouvelable, et des objectifs d'optimisation et d'efficacité recherchés.

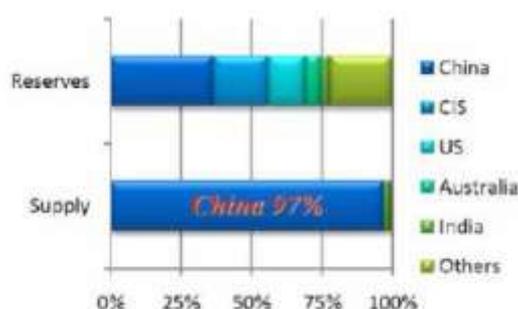
On peut dégager quatre problématiques distinctes (trop souvent mélangées) sur la question des métaux rares :

- La *disponibilité* des ressources elle-même,
- *L'accès* à ces ressources en fonction de leur localisation et de leur concentration (avec leur dimension géopolitique),
- *Les coûts*, en fonction des conditions d'extraction, de la structure des marchés, de la relation offre-demande,
- Les *processus spéculatifs* qui peuvent s'y ajouter.

Ces quatre paramètres sont en partie indépendants les uns des autres.

Ainsi, la production des terres rares est passée de moins de 30 000 tonnes en 1980 à plus de 120 000 tonnes en 2010. Dans le même temps, la production initialement répartie dans plusieurs pays, dont les Etats-Unis, s'est progressivement concentrée en Chine qui produit aujourd'hui 97% du total mondial. (Une politique de prix bas a éliminé tout concurrent). Or la demande en terres rares (un ensemble de 15 éléments situés dans le milieu de la table de Mendeleïev) ne cesse de croître du fait du nombre et de la diversité des applications (métallurgie, chimie, catalyse, optique, électricité, batteries, ampoules de lampes, écrans cathodiques, aimants permanents, pour moteurs, dynamos...). **La demande est notamment très forte pour de nombreuses « technologies vertes »** : éoliennes, voitures hybrides, éclairage basse consommation, supraconducteurs, et applications militaires (vision nocturne, lasers, radars, satellites...) ; **on estime qu'elle croîtra de 8 à 11% par an d'ici 2014.**

Figure 12 : Répartition géographique des réserves mondiales de terres rares comparées à la production actuelle



Source : USGS

La position quasi-monopolistique de la Chine en termes de production (plus de 90%), mais aussi de consommation (plus de 60%) des terres rares, et le contrôle qu'elle a introduit sur ses exportations en 2010, avec la forte croissance des cours qui s'en est suivie, ont conduit à une **reprise des travaux**

d'exploration et de développements miniers dans le monde. Les projets les plus avancés se situent aux Etats-Unis, en Australie, au Canada et en CEI⁹⁵, et la répartition estimée des réserves qui en découlent montre que celles-ci seront suffisantes pour couvrir les besoins du XXI^{ème} siècle, avec un faible risque de pénurie d'origine géopolitique, la Chine ne disposant pas de plus de 37% des ressources mondiales.

Le renchérissement de l'extraction et de l'accès aux ressources dans le cadre d'une croissance de la demande mondiale en matières premières

Diversité de la demande et de l'offre correspondante

❖ Les matériaux de construction

La demande en ressources minérales quantitativement la plus importante porte sur les **matériaux de construction** : sable, granulats, ciment, chaux, plâtre. Il s'agit de matériaux pondéreux, que l'on a intérêt à **extraire à proximité des sites de consommation**. Ce sont aussi des matières premières très répandues qui ne posent pas de réel problème de limite de la ressource, si ce n'est localement, du fait de la superposition des contraintes pouvant surgir, notamment à proximité immédiate des grandes mégapoles. En effet, dans un environnement urbain dense, tenant compte des surfaces interdites à l'exploitation du fait de l'urbanisme, des voies de transports, des espaces naturels protégés, ou autres raisons à caractère social ou politique (notamment le fameux réflexe NIMBY), **il peut s'avérer qu'une ressource géologique abondante et de qualité soit inexploitable**. Les tendances actuelles aboutissent souvent encore à des aberrations économiques et environnementales, comme l'usage de revêtements de granite d'importation chinoise dans la construction des lignes de tramways urbains en France, alors même que l'on dispose à proximité de ressources de qualité.

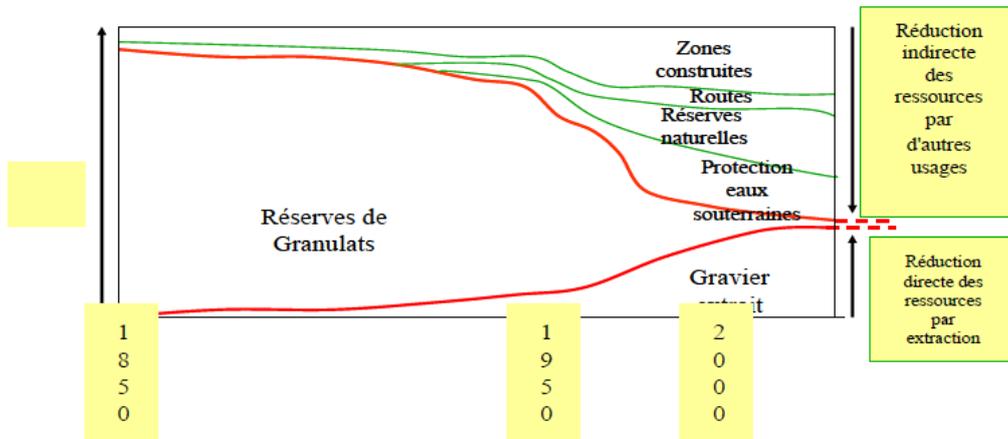
En la matière, outre la lutte contre le gaspillage et la **promotion du recyclage des déchets de construction** et de démolition, de nouvelles formes de développement durable doivent voir le jour combinant la création d'espaces souterrains urbanisables (transports, espaces de stockage, commerces, industries...) et la production de matières premières⁹⁶ grâce à l'extraction réalisée pour ces infrastructures. Il en va de même pour de nombreux minéraux industriels, qu'il s'agisse des carbonates, des argiles, du feldspath ou du quartz relativement abondants et dont on ne connaît pas de limite en termes de réserve de production à proprement parler.

⁹⁵ Communauté des États indépendants

⁹⁶ J.Varet, Geosciences, 2009.

Figure 13 : Diverses contraintes pesant sur les ressources extractibles dans le cas des granulats en France

Plus que l'énergie ou les transports, c'est l'espace qui contraint la ressource extractible



Source : BRGM

Concernant les métaux, on peut en distinguer trois catégories en fonction du degré de développement des pays consommateurs.

❖ Les métaux ferreux et ferro-alliages (Fer, Manganèse, Chrome)

Ils sont massivement consommés, au même rythme que les matériaux de construction, dans les pays émergents au stade initial de développement, pour fournir les infrastructures de transports, l'habitat urbain et la construction des usines.

❖ Les métaux de base (Aluminium, Cuivre, Zinc, Etain)

Ils sont également consommés dans ces infrastructures, mais aussi les produits blancs et l'industrie du transport, notamment automobile. Ces consommations caractérisent les pays de niveau de développement intermédiaire, comme la Corée et la Chine.

❖ Enfin, les métaux de hautes technologies (Lithium, Cobalt, Indium, Germanium, Tantale, terres rares, Titane, Germanium...)

Ils entrent dans la composition des produits électroniques et informatiques et sont utilisés dans l'industrie spatiale, les énergies renouvelables et les technologies de dépollution. Ils sont jugés stratégiques par les pays concernés (Amérique du Nord, Europe, Japon).

Ces dernières années, l'attention des pays développés s'est focalisée sur cette **question de « criticité » des substances minérales pour l'industrie** (autrement qualifiées de « stratégiques », en France notamment). Le département américain de l'énergie notamment publié en 2010 une stratégie relative aux matières premières critiques (« clean energy demand »)⁹⁷, qui a l'intérêt de mettre

⁹⁷ Critical Mineral Strategy. US DOE, 170p. Dec. 2010. materialstrategy@energy.gov

Elle met notamment l'accent sur les éléments suivants:

- lanthane, cérium, praséodyme, néodyme, cobalt et lithium pour les batteries des véhicules électriques ;
- néodyme, dysprosium, praséodyme et samarium pour les aimants permanents des véhicules électriques et des éoliennes ;
- lanthane, cérium, europium, terbium et yttrium pour l'éclairage à basse énergie (substances luminophores) ;
- indium, gallium et tellure pour les cellules photovoltaïques.

l'accent sur l'incidence du développement – aux Etats-Unis et dans le monde – des technologies vertes. L'étude conclut sur le caractère critique de plusieurs terres rares sur le court et moyen termes concernant l'approvisionnement des Etats-Unis : Dysprosium, Néodyme, Europium, Yttrium, Indium et Terbium, et la nécessité de développer une politique fédérale à cet égard. La DG Entreprise de l'Union européenne a pris en 2009 une initiative dans ce domaine, et la France a suivi avec la création du Comité des métaux stratégiques (COMES⁹⁸) en 2011.

En 2012, l'enjeu de souveraineté nationale a été réaffirmé, ainsi que la volonté de relancer l'exploitation des mines. La France cherche à améliorer sa connaissance du sous-sol et souhaite réviser le code minier, faire évoluer le cadre réglementaire pour favoriser la concertation et la transparence autour de ces activités.

Nous avons noté précédemment que la croissance de la demande particulièrement forte de ces dernières années était essentiellement tirée par la Chine et les nouveaux pays industriels. Le résultat de cette évolution est que la part de la Chine dans la consommation mondiale de matières premières minérales était en 2006 en passe d'absorber la moitié de la production mondiale de ciment, 40% de celle d'aluminium, de manganèse, de charbon et d'acier, et 30% du nickel alors que la Chine représente à peine plus de 20% de la population mondiale.

Quelle que soit la substance considérée, en comparaison des niveaux de consommation par grande région du monde, on observe cette place croissante prise par la Chine ces toutes dernières années.

Une demande durable ?

Après les chocs pétroliers des années 70 et la baisse consécutive pendant 15 ans des prix du pétrole autour de 30 \$ le baril, on assiste à une très forte remontée depuis 2003. Il en va de même depuis 2006 pour la plupart des métaux. En effet, se sont ajoutés au milliard d'habitants des pays développés de la fin du XX^e siècle (Europe, Amérique du Nord, Japon et ex-URSS), environ 3 milliards d'habitants des pays émergents qui accèdent maintenant à de meilleures conditions de vie et donc consomment davantage d'énergie, de matières premières et de produits alimentaires. Si cela ne touche pas encore toute la population de la Chine, de l'Inde et du Brésil, cela concerne également des parts croissantes de populations d'autres pays en développement.

La crise financière mondiale ne va-t-elle pas bouleverser la demande ? L'évolution des prix montre en 2007 une nette inversion des tendances haussières. Mais dès fin 2008, *Le Monde Economie* du 8 décembre note que, malgré la crise, le secteur minier australien, certes moins bénéficiaire, se prépare néanmoins à la reprise : « *lorsque la demande reprendra, les prix des matières premières pourraient atteindre de nouveaux sommets* ». Concernant le charbon au niveau mondial, E. Marris, journaliste, montre au même moment, dans *Nature*, sous le titre « *Old fuels new wealth* »⁹⁹, que malgré la crise et l'essor des renouvelables, le boom de la demande se maintiendra. Sous le titre « *Uranium appauvri* », le journal *Le Monde* du 5 janvier 2009 montre que les cours, après avoir grimpé comme les autres, ont diminué de moitié entre octobre 2007 et décembre 2008. Malgré cela, la production des mines ne couvre que 55% des besoins. Ceux-ci devraient augmenter de 18% d'ici 2013 et bien davantage à l'horizon 2020. A la fin du premier semestre 2009, si les groupes miniers

⁹⁸ Comité pour les métaux stratégiques, une instance de réflexion et de proposition située auprès du ministre chargé de l'industrie

⁹⁹ E. Marris, « Old Fuels New Wealth ». *Nature*, n° 456, 10 décembre 2008, pp. 832-834

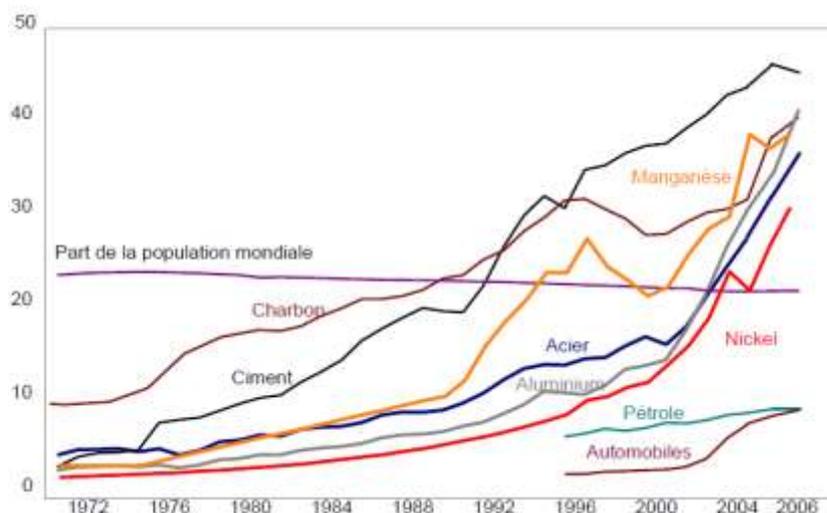
sont encore en difficulté, suppriment beaucoup d'emplois et ferment des mines, les efforts en exploration restent soutenus. En effet :

- les cours des métaux de base sont tous revenus à un niveau équivalent à l'avant-crise (les cours du nickel et du cuivre par exemple), portés par la demande chinoise ;
- les Chinois ont plus que jamais besoin de matières et investissent tous-azimuts ;
- certains minerais ont particulièrement le vent en poupe (uranium, lithium, ...).

Il se confirme dès mi-2009 que les groupes miniers australiens investissent dans de nouveaux projets. Le nickel est au plus haut depuis le 3 octobre 2008, et BHP Biliton prévoit d'ouvrir une nouvelle mine d'uranium dans l'ouest de l'Australie. Au cours de ces trois dernières années, la crise financière n'a pas facilité de réelle reprise. Les groupes miniers occidentaux sont dans l'expectative. Par contre, les groupes miniers chinois, et plus généralement des pays émergents, restent très actifs. Ils profitent de la conjoncture pour étendre et accroître leurs portefeuilles minier, en se tournant notamment vers les pays du Sud, mais sans négliger des opportunités dans les pays du Nord (Canada, Groenland, p.ex.)

Tout indique aujourd'hui que cette demande sera durable, malgré la crise financière secouant les pays occidentaux. En effet, si la part de la Chine dans la demande mondiale paraît d'ores et déjà très forte, force est de constater que le niveau de consommation par habitant reste très bas, notamment du fait d'un PIB chinois par habitant encore très inférieur à celui des pays occidentaux. Ces données traduisent un potentiel de croissance qui reste important. Mais le développement à venir pourrait ne pas être le fait principalement des groupes occidentaux, mais de la croissance sur ce marché de la part des opérateurs des pays émergents, notamment chinois.

Figure 14 : Part de marché de la Chine dans la consommation mondiale de métaux, minéraux et biens intermédiaires (%)



Source: IISI, Organisation Internationale des Constructeurs Automobiles, International Aluminum Institute, Coal Institute, Wikipedia, China Metals, BP, Eramet, China Geological Survey, International Mn Institute, Source : Laplace Conseil

Même si des mesures sont prises par les pays européens pour inverser la tendance à la délocalisation vers la Chine de l'industrie consommatrice de main d'œuvre et de matières premières, la demande restera globalement forte dans la mesure où aux besoins propres des Nouveaux Pays Industrialisés (NPI) – et des PED en général – viennent s'ajouter les besoins de l'industrie de pointe, qu'il s'agisse

des TIC et de l'aérospatial, ou des « technologies vertes » (pour la protection de l'environnement ou les énergies renouvelables). Ainsi, au total :

- Les NPI (Chine et Inde) resteront les principaux moteurs de la croissance de la consommation de ressources minérales ces prochaines années, qu'il s'agisse de métaux de base ou de « nouveaux métaux ».
- C'est pour les pays développés que l'évolution sera la plus significative, par exemple le nickel, pour l'aéronautique et l'énergie, mais également de nouveaux marchés tels que les batteries (énergie portable, véhicules hybrides, catalyseurs...).
- La croissance de la consommation des métaux de base restera très forte : de 5 à 6 % pour l'acier inox et l'aluminium ; de 4 à 5 % pour le cuivre, le zinc et le nickel.

L'offre pourra-t-elle suivre ?

Dans un tel climat de croissance et de diversification de la demande mondiale en matières premières minérales, les capacités humaines seront-elles à même de mener à bien le développement de la production sur le long terme ? Au-delà de l'intelligence et de la technique, le problème n'est-il pas du côté des milieux naturels : le système terre sera-t-il en mesure de répondre à la demande ?

Avant d'entrer dans le sujet, il faut rappeler que si l'humanité s'est dotée ces dernières années d'une capacité de connaissance assez approfondie de l'espace et du système solaire, **elle ne dispose que d'une connaissance tout à fait pelliculaire de la planète terre**. Les capacités d'investigation ne dépassent pas quelques kilomètres, et encore de manière très ponctuelle. Si l'on commence à peine à avoir une vue d'ensemble de la géologie de surface (avec néanmoins d'énormes lacunes), on est loin d'avoir une connaissance en trois dimensions, même de la partie la plus superficielle de la croûte terrestre. Les premières centaines de mètres les plus accessibles n'ont été investiguées que très ponctuellement à la faveur de travaux urbains, d'infrastructures de transports ou de quelques mines ou forages de production pétroliers, gaziers ou géothermiques.

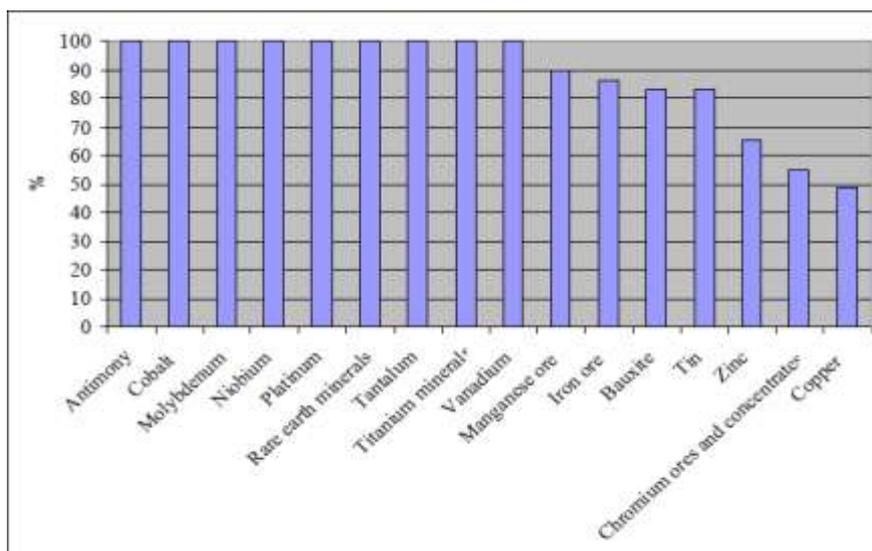
Figure 15 : Carte de la répartition mondiale des principales réserves identifiées en métaux



Source: BRGM

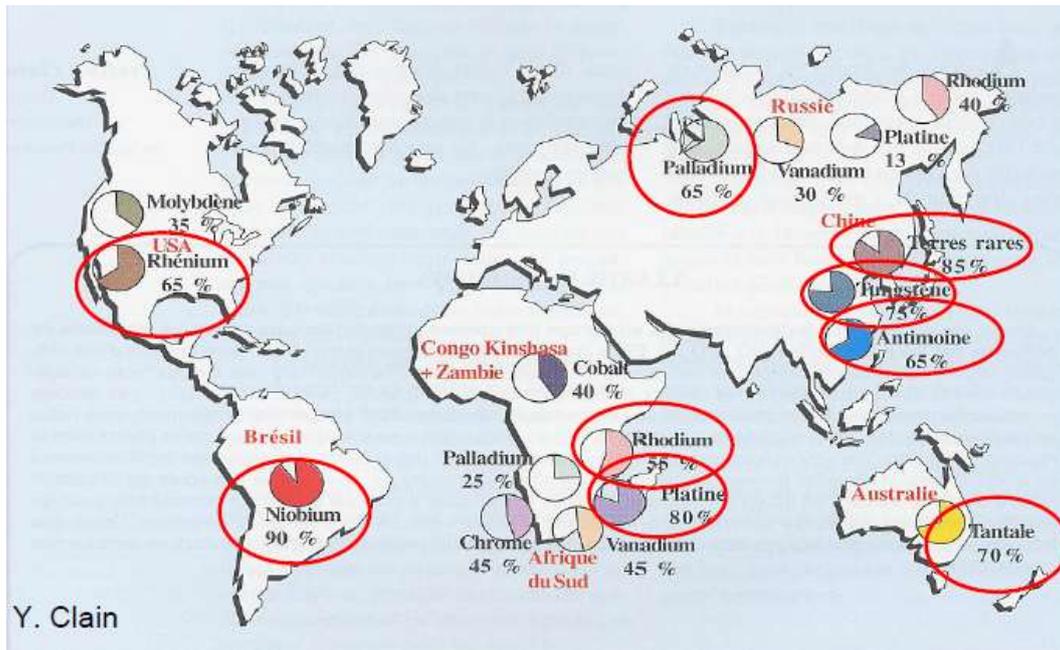
Compte tenu de l'extrême hétérogénéité des formations géologiques, en termes d'âge, de composition, de disposition géométrique et de conditions physiques (comme la température ou la présence d'eau), **la répartition des ressources minérales sur la planète est très hétérogène**. Et si l'Europe a été un foyer de développement au XIXème sur la base de l'exploitation de ressources locales, il s'avère que les meilleurs gisements mondiaux sont situés sur d'autres continents. C'est notamment le cas pour les métaux « high tech » ou nécessaires aux « technologies vertes ».

Figure 16 : La dépendance de l'Europe pour quelques substances minérales (dans l'ordre : Antimoine, Cobalt, Molybdène, Platine, Terres rares, Tantale, Titane, Vanadium, Manganèse, Fer, Bauxite, Etain, Zinc, Chrome, et Cuivre)



Source : DG entreprises

Figure 17 : Les risques d'approvisionnement sur les petits métaux stratégiques contraints par la géologie
Production de + de 50% du total mondial: Nb (90%), REE (85%), Pt (80%), Tu (75%), Ta (70%), Pd (65%), Sb (65%), Re (65%), Rh (55%)



Source : Y. Clain

On dispose aujourd’hui de modèles géologiques globaux permettant de délimiter les zones dans lesquelles telle ou telle substance est susceptible de constituer des gisements de quantité et qualité exploitable. Ce « potentiel », généralement très important, va bien au-delà de toute capacité humaine de développement. Mais la connaissance des gisements est inégale, car selon l’importance des besoins, les travaux de reconnaissance géologique ont été plus ou moins poussés au niveau mondial. **C’est de ce fait dans le domaine des hydrocarbures que les connaissances sont les meilleures du fait des investissements publics et privés consentis.** C’est aussi une catégorie de substances pour lesquelles on perçoit d’ores et déjà des limites (cf. Chapitre 3, sur les ressources énergétiques). Mais il faut rappeler ici que les composés carbonés sont des produits fossiles résultant de productions de biomasse passées et que les gisements correspondants sont cantonnés à la fraction superficielle de la lithosphère. Ce n’est pas le cas de la plupart des autres ressources minérales, notamment métalliques, dont les concentrations peuvent se produire ou se retrouver à toute profondeur.

La flambée des cours (2005-2008) : une crise de ressources ?

Les sources de la flambée des cours en 2005-2008 - certes atténuée par la crise financière mais en claire reprise depuis - ont été analysées¹⁰⁰. Les pays occidentaux, Etats- Unis et Europe, ont rivalisé dans une compétition basée sur un transfert massif des productions industrielles vers des pays à coût de main d’œuvre toujours plus bas, aboutissant à une concentration de ces activités en Chine. Cependant, **la question des matières premières a été négligée.** On n’a pas vu venir leur raréfaction, leurs cours restaient bas du fait que, pendant des années la Chine a puisé dans ses propres ressources

¹⁰⁰ J.Varet, Futuribles, 2004

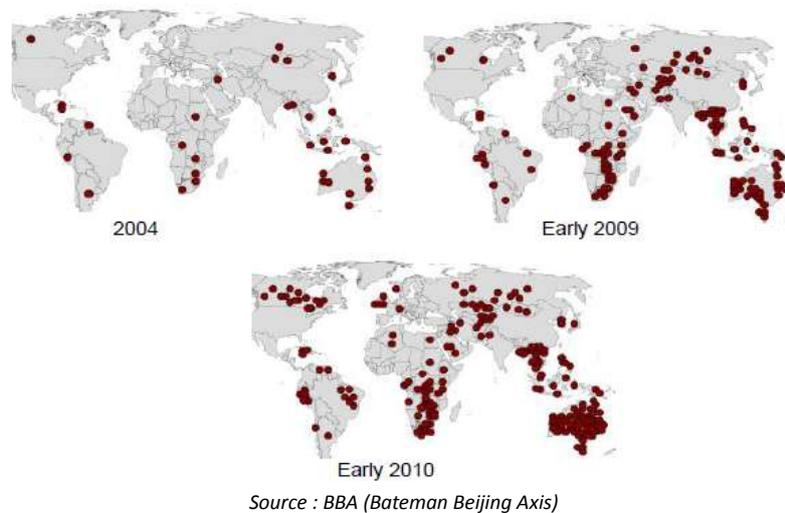
énergétiques et minières. Et quand la Chine s'est mise à importer, les stocks importants de l'ex. URSS ayant été absorbés, avec une croissance à deux chiffres, c'était déjà trop tard.

D'autres paramètres tiennent aux **découvertes exceptionnelles effectuées dans les années 70-80**, qui ont amené sur le marché une grande abondance de pratiquement toutes les matières premières. Pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, on disposait à la fin des années 70, avec la théorie de la tectonique des plaques, d'un modèle géologique global très puissant : la géodynamique globale explique en effet autant la répartition des ressources que les phénomènes métallo-génétiques et fournit des guides pour l'exploration et l'exploitation. En outre, les techniques spatiales et géophysiques, et l'information numérique ont multiplié la puissance des découvreurs. Dans la même période, les importants efforts de R&D entrepris après le choc de 1973 ont permis de mettre sur le marché de nouveaux procédés plus performants et plus économes. Il en a résulté **des découvertes et des capacités de production sans précédent, dans un contexte favorable aux concentrations industrielles**.

Ces concentrations, d'une ampleur particulière dans le secteur minier, ont entraîné – les cours étant stabilisés par l'importance des découvertes – une **réduction progressive des travaux d'exploration et de production, au profit de politiques d'acquisitions d'entreprises, de mines ou de découvertes**. On vient donc de traverser une période de 20 ans pendant laquelle le renouvellement des découvertes n'a plus été assuré. Dans le même temps, n'embauchant plus, cette industrie à l'échelle nationale a vu vieillir ses cadres, sans perspective de renouvellement du fait que les enseignements eux-mêmes se sont largement taris.

Ainsi, au moment où la remontée des cours traduit un tarissement physique des ressources identifiées, l'industrie n'a plus les capacités de rebondir en engageant de nouveaux travaux d'exploration, faute de ressources humaines pour les mener. Et le contexte financier ne favorise de toute façon pas l'investissement ou la reprise de l'emploi, notamment en Europe. **Le résultat de ce contexte est clair : il se traduit par les avancées spectaculaires des investissements des nouveaux pays industrialisés (Chine, Inde, Brésil) dont les entreprises rivalisent désormais avec les quelques « majors » américano-australocanadiens dans les travaux d'exploration minière et d'acquisition de nouveaux gisements, notamment en Afrique et en Amérique latine.**

Figure 18 : Accélération des investissements miniers chinois dans le monde : comparaison entre les années 2004, 2009 et 2010



Atteindre un équilibre offre/demande : les freins à la connaissance et au développement des ressources

Pour dresser une image quantitative des limites des ressources minérales, il faudrait disposer d'une connaissance un tant soit peu exhaustive de leur répartition sur la planète. Or on est loin de disposer d'une vision assez fine de la géologie pour avoir une image d'ensemble. On ne dispose d'études quelque peu exhaustives que pour quelques métaux ou éléments. Tous les gisements potentiels sont loin de bénéficier des mêmes avancées technologiques et environnementales.

A l'aval de la prospection amont, il existe pourtant de nombreuses stratégies pour assurer une reprise des développements miniers. La plus simple (dite « *Near mine* ») est de relancer les recherches au voisinage de zones minières existantes. La simple reprise des zones anciennes prématurément arrêtées est aussi une possibilité (« *Project generation* » : par exemple à Osisko au Canada). Une autre approche – notamment pour les « petits métaux » est la prise en compte – notamment par retraitement des anciens stériles - des sous-produits valorisables. Plus à l'amont, la réinterprétation de gisements abandonnés dès les phases d'exploration (p.ex. dans un pays devenu conjoncturellement difficile) peut s'avérer avantageux. Les stratégies basées sur l'existant sont donc nombreuses, et sont souvent privilégiées par les opérateurs, au détriment du « *Grassroot* », c'est-à-dire la recherche de nouvelles découvertes. Les « *majors* » laissent généralement ce domaine aux petites entreprises (dites « *juniors* »), quitte à les racheter en cas de découvertes intéressantes. Enfin, les approches innovantes peuvent aussi concerner de nouvelles substances, de nouveaux minerais, ou de nouveaux procédés (comme la biolixiviation....).

La difficulté tient en large partie à la question de l'incapacité de l'économie actuelle à raisonner en termes de cycles longs. Le temps de la finance ne semble plus compatible avec celui des ressources minérales. Il faut en effet des années de recherches géologiques et géophysiques pour identifier des gisements, et plus de temps encore pour créer et développer des mines, et la chaîne industrielle de traitement du minerai et de productions métalliques répondant aux besoins – eux-mêmes très évolutifs – des marchés.

Certes il est possible de préconiser une baisse de l'activité extractive, et de stimuler le recyclage des métaux contenus dans les produits en fin de vie. D'autant que leur vie est de plus en plus courte à cause de l'obsolescence programmée des produits. Pour autant, il n'y a pas de raison de penser que le reste de l'humanité n'ait pas le droit d'accès aux mêmes facilités que celles dont disposent les habitants des pays développés. De ce fait, « l'état stationnaire » dans lequel le volume des matières premières recyclées répondra à lui seul aux besoins de l'économie est loin d'être atteint. S'il peut être approché ici dès maintenant, il ne peut être envisagé globalement à l'échelle de la planète. Et celle-ci – combustibles fossiles mis à part – n'est pas prête d'avoir épuisé les ressources disponibles au sein de la lithosphère.

En ce qui concerne le recyclage, les capacités actuelles de l'Europe restent cependant peu développées, que ce soit par manque d'infrastructures, ou – de manière plus préoccupante – par manque de procédés techniques permettant ce recyclage.

Dans certains cas, **l'utilisation dispersive des métaux rend le recyclage impossible car énergétiquement trop coûteux** (cf. tableau ci-dessous).

L'exemple des Etats-Unis montre cependant qu'il est possible de mieux développer le recyclage, et de limiter notre dépendance. La substitution par d'autres métaux plus abondants constitue une seconde option, mais elle n'est souvent possible qu'au prix de coûts supplémentaires ou de pertes de performance. La question de notre dépendance à ces métaux reste donc critique à bien des égards, et la solution passe sans doute en partie par une limitation de nos besoins, et par une sélection des besoins prioritaires.

Tableau 1 : Possibilités de recyclage par métaux critiques, comparaison Europe et USA

Métaux critiques	Possibilités de recyclage en Europe (selon Critical Raw Material)	Taux de Recyclage aux USA (1998-2000)	Efficience du Recyclage aux USA (1998-2000)	Substitution possible dans certaines applications, mais avec une perte de performance et/ou coûts supplémentaires
Gallium	pas de recyclage			+
Terres rares	procédé non viables économiquement			+
Fluorine	estimé à moins de 1% actuellement			-
Béryllium	faible taux de recyclage	10%	7%	+
Graphite	très limité (lié à l'abondance du graphite sur le marché mondial)			
Indium	limitées aux résidus manufacturés			+
Antimoine	faible à cause de son application dissipative	20%	89%	pas de substitution efficace pour ses applications majeures
Tantale	limité	21%	35%	+
Niobium	estimé à 20% actuellement	22%	50%	+
Groupe du platine	entre 10 et 50% selon les usages			substitution possible entre les métaux du groupe
Cobalt		32%	68%	-
Magnésium	possibilités de recyclage limitées	33%	39%	
Tungstène		46%	66%	+
Germanium	30% actuellement	50%	76%	

Classement réalisé en fonction du taux de recyclage actuel aux Etats-Unis et/ou des données européennes (Données US Geological Survey, *Mineral Yearbook*, 1998-2000 et *Critical Raw Material* - UE).

Une gouvernance inadaptée à l'enjeu

Une priorité : construire partout une gouvernance qui fait défaut aujourd'hui

Les freins ne sont pas seulement scientifiques et techniques. Le développement est souvent handicapé par la **mauvaise gouvernance politique, sociale et environnementale de la mine dans de nombreux pays**. Au point que l'on parle de « **malédiction des matières premières**¹⁰¹ » car si l'on dispose de nombreux exemples positifs – pas seulement avec la Norvège, mais aujourd'hui aussi le Brésil, le Pérou ou le Chili, dans de nombreux pays, notamment africains, la richesse en matière première est inversement proportionnelle au bien-être des populations. L'exemple le plus criant étant celui du Congo Kinshasa ; plusieurs organisations non gouvernementales, comme l'AITEC¹⁰² veillent sur ces cas flagrants de détournement de la richesse des pays en manque de capacité publique de maîtrise des activités extractives, voire elles-mêmes engagées dans leur détournement au profit de quelques-uns, voire du crime ou de la guerre. Il résulte de cette situation que, au lieu de servir le développement des pays concernés, la mine apparaît comme facteur de sous-développement ; de

¹⁰¹ Pierre-Noel Giraud.

¹⁰² Voir la publication du document d'analyse « Ressources naturelles : mettre l'UE et sa politique commerciale sur les matières premières hors d'état de nuire », sur : <http://aitec.reseau-ipam.org/spip.php?article1181>

nombreuses agences de développement sont affectées par cette critique, notamment les politiques d'aide au développement françaises (cf. AFD).

Il s'agit là d'un problème de nature politique, mais qui tient aussi à la **formation des hommes**. Outre le fait qu'il est nécessaire de former à nouveau les générations de futurs explorateurs et ce dans tous les pays, du fait du long déficit des recrutements dans la période 1986-2006, et de la disparition des formations spécialisées, on se trouve devant la nécessité de former les responsables des services publics dans les pays concernés. Or la prise en charge de ces formations fait totalement défaut.

Plus généralement, il apparaît nécessaire de **reconsidérer le droit, l'économie et la gouvernance des ressources minérales au niveau planétaire dans une optique à la fois globale et locale**, au même titre que les politiques climatiques que l'on a déjà tant de peine à mettre sur pied. Il est grand temps de se doter – au niveau des Nations Unies – d'une vision globale. Elle permettrait de mieux lier le prix des substances à leur rareté physique plutôt qu'au jeu de l'offre et la demande à court terme comme cela prévaut aujourd'hui, et de construire une économie du développement de long terme.

Au plan conjoncturel, même dans le contexte actuel de cours élevés et à la hausse, de réelles difficultés apparaissent pour une reprise de l'offre, alimentant spéculations et peurs millénaristes. Pour plusieurs substances, faute de travaux d'exploration ces dernières années, peu de projets miniers sont prêts à entrer en production. Faute de nouvelle découverte, il faut se tourner vers les extensions en profondeur ou le traitement de minerais à plus faible teneur. Or – à technologies égales – les coûts de production augmentent avec la profondeur, et avec la baisse des teneurs. Il faut compter en outre sur **une augmentation des prix de l'énergie pour des projets eux-mêmes plus énergivores**.

L'absence prolongée de recherche et développement fera aussi sentir ses effets. On aurait besoin de renouveler des concepts géologiques, métallogéniques, minéralurgiques datant généralement de plus de 30 ans pour générer de nouveaux guides pour l'exploration et pour la conception de nouveaux procédés. Cette option repose sur une reprise des formations spécialisées car ici encore, on se heurte au manque de ressources humaines compétentes, notamment du fait que la reprise des activités d'exploration – la production industrielle absorbe la quasi-totalité de l'offre disponible dès les premières années d'études à la sortie des trop rares universités et des écoles spécialisées. **Cette tension sur les ressources humaines concerne l'ensemble du secteur public, qu'il s'agisse de la recherche, de l'éducation ou de l'administration.**

Un champ d'action à réinvestir pour les politiques publiques

Le secteur des ressources minérales n'a pas seulement souffert ces dernières années de l'absence de politique publique. Il a aussi souffert de réelles erreurs. **La tendance générale des politiques des agences financières internationales dans le secteur minier a porté essentiellement sur des opérations de démontage des monopoles d'Etat, par privatisation des exploitations existantes. Cette politique s'est rarement accompagnée de ce qui aurait dû constituer son préalable et son pendant scrupuleux : la création et la consolidation des capacités des services publics nationaux** (services géologiques, cadastres miniers, inspecteurs des installations classées...). Malgré quelques efforts de l'Union européenne, dans le cadre du programme Sysmin¹⁰³, et plus récemment de la Banque Mondiale, les infrastructures de connaissances (fonds géologiques, géochimiques,

¹⁰³ System of Stabilization of Export Earnings from Mining Products

géophysique aéroportée...) sont généralement insuffisants. Les cartes géologiques anciennes (+ de 30 ans) sont obsolètes et ne permettent pas de comprendre les structures profondes ou d'élaborer des modèles de gisements. Il s'agit d'anciens levés « papier », qui posent des problèmes de numérisation, et ne permettent pas l'interopérabilité nécessaire pour une exploration moderne.

Le paradoxe est que les rares initiatives d'appui aux politiques publiques des Etats des pays du Tiers-Monde, détenteurs de ressources, ont été conçues lorsque les cours étaient bas. Paradoxalement, avec la reprise des cours, elles se sont généralement tarées ces dernières années (c'est notamment le cas du programme Sysmin de l'U.E. achevé en 2008). Au plan européen, des fonds institutionnels seraient à réamorcer, notamment dans le cadre du FED 2008-2013. Outre la reconnaissance géologique des ressources, c'est sur l'approche « gouvernance » que devrait porter l'essentiel de l'effort.

Enfin, **toute politique responsable devrait reposer – en plus des acquisitions de connaissances nouvelles au plan national – sur une synthèse des connaissances des ressources de la planète dans son ensemble**, une démarche qui reste à promouvoir et organiser. Actuellement, la connaissance est maîtrisée pour les substances qui intéressent quelques compagnies minières « major » et pour les métaux dits « stratégiques » par quelques Etats, dont les Etats-Unis et sans doute la Chine. Le service géologique américain (USGS) est doté d'un programme de long terme, pour répondre aux besoins géopolitiques du pays. **L'absence de l'Europe est flagrante**. Même si la tâche n'est pas facile, du fait des intérêts des entreprises et des pays concernés, **la création – sur le modèle du GIEC – d'un panel international de scientifiques et d'experts – d'un GIER (Groupe International d'Etude des Ressources) serait une étape préalable nécessaire en vue de l'émergence d'une gouvernance des ressources minérales**.

Le retour d'une géopolitique des matières premières

Le débat sur la géopolitique de l'économie se concentre essentiellement sur les localisations de la production manufacturée et des services financiers. La confrontation à la limitation des ressources remet en évidence le poids de la géopolitique des ressources dans le futur. Si cette problématique est mondiale, les stratégies nationales sont très importantes et permettent de réduire fortement des contraintes – dans un premier temps en tous cas.

Le poids des pays pouvant consolider leur accès aux matières premières est dominant.

Les politiques américaines et chinoises visent à prendre des positions dans le contrôle des ressources (pétrole, métaux stratégiques, terres rares...).

Il y a une véritable faiblesse stratégique de l'Union européenne.

L'Europe n'a pas de politique active de sécurisation de l'accès aux matières premières. Elle est amenée à une posture conciliante avec les pays pétroliers. C'est aussi la raison de son partenariat stratégique (et difficile) avec la Russie.

Au plan politique, la confrontation aux limites des ressources va induire des comportements nationaux forts avec un captage croissant de rente par les producteurs. C'est ce qu'on observe clairement avec des pays en mesure de peser sur l'économie mondiale, comme la Chine et le Brésil.

Conclusion : résumé des controverses concernant les ressources minérales

Plutôt qu'une limite des ressources elles-mêmes, le domaine des ressources minérales illustre de manière caricaturale une **carence de nos politiques publiques**. Alors que le sujet des ressources minérales, historiquement piloté en France par la puissante DGEMP (Direction Générale De l'Energie et des Matières Premières), n'est **pratiquement plus pris en charge au niveau de l'Etat, le sujet n'a pas pour autant fait l'objet d'un quelconque transfert de compétences au niveau européen**. Or la dépendance de l'Europe – totale pour la France et quasi-totale dans l'ensemble de l'Union européenne – si elle n'a pas posé de problème pendant la longue période de cours déprimés, commence à interroger les pays restés quelque peu industrialisés, comme l'Allemagne, la Suède ou la Finlande. C'est à leur instigation que la DG Entreprises de l'U.E. a publié « l'Initiative Matières Premières »¹⁰⁴ en 2009. Mais cette initiative se heurte à **l'absence de « vision du monde » de l'Union européenne**, qui n'a pas été dotée encore par les Etats Membres de capacité en matière géostratégique et diplomatique, des outils jalousement gardés par les états membres. Or toute réflexion sur les ressources minérales, et toute action, doit reposer sur une vision à l'évidence nécessairement globale. Qu'il s'agisse de la connaissance géologique des gisements, des risques liés au peu de sites d'extraction identifiés, de la question de la concentration de la production dans les mains de quelques oligopoles non européens, et en fin de compte des risques géopolitiques, ou même de ceux liés aux filières de recyclage, **l'absence de politique européenne constitue une lacune criante**, qu'il serait urgent de combler.

Bien entendu, une telle politique commune devrait être conçue dans un mode relationnel équilibré – au plan Economique, Social et Environnemental avec les pays concernés, en premier lieu les Etats ACP. La mise en œuvre d'un partenariat minier Nord-Sud devra bien entendu s'intégrer dans les politiques de développement des Etats du Sud. L'action de l'U.E. passera par le soutien à la mise en place d'une bonne gouvernance, tant au niveau tant local et régional que national (renforcement des capacités des Etats). A cet égard, des politiques de formation et de transferts de connaissances spécifiques – dans les domaines scientifiques et techniques, comme dans les domaines de la gouvernance (droit, économie, gestion) - doivent constituer les mesures prioritaires de soutien financier de l'Union Européenne à l'égard des pays concernés. Ceci, tant dans la perspective du développement des entreprises européennes, qu'à l'égard des entreprises locales ou issues des pays émergents (chinoises notamment).

Malgré la dématérialisation de l'économie européenne, la société a en effet besoin de minerais et de métaux. Le recyclage occupe déjà une bonne place et doit se développer, mais ne palliera pas à la totalité des besoins. D'autant plus lorsqu'il s'agit de « nouveaux métaux », pas exploités dans les « 30 glorieuses ». Les politiques les moins durables sont éventuellement également celles qui ont produit les plus de déchets, et de matière à recycler. Malgré les gisements de l'anthroposphère, les ressources minières resteront très sollicitées et de manière croissante pour les « nouveaux métaux »¹⁰⁵. Généralement, elles ne sont pas rares ; par contre, elles sont peu connues, réparties inégalement sur la planète, et éventuellement peu accessibles. Plusieurs dizaines d'années de cours déprimés ont amené les acteurs à délaisser ce domaine. La concentration des compagnies minières a entraîné une réduction des programmes de recherche. Une reprise de la R&D et de l'exploration est nécessaire et

¹⁰⁴ Pour de plus amples informations, consulter : http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/index_fr.htm

¹⁰⁵ Dits aussi « métaux verts ».

commence à se vérifier. De fait, les budgets exploration des entreprises croissent de nouveau depuis quelques années. Pour autant, les découvertes nouvelles n'augmentent pas. Elles sont en retard par rapport à la reprise de l'exploration. Comme on l'a vu, la stratégie des entreprises s'est construite d'abord par la reprise de mines anciennes. Si les découvertes piétinent, ce n'est pas parce que nous serions en train d'atteindre la limite des ressources. Il n'y a pas de risque de pénurie physique de telle ou telle substance. Pour progresser, les concepts gîtologiques¹⁰⁶, pour la plupart anciens sont à renouveler, et des outils d'exploration plus performants (sondages, géophysiques, géochimiques, télédétection, ...) sont à mettre en œuvre. Il faut améliorer la performance des procédés (plus économes en énergie, plus propres...). Il y a en effet besoin de découvrir de nouvelles provinces, et pour ce faire, de pallier au déficit des Etats, notamment pour les PED.

Le développement des ressources minérales se heurte en outre à des problèmes de :

- Ressources humaines (déficit de personnels formés)
- Bonne gouvernance (partage de la rente)
- Souvent liés aux insuffisances du secteur public
- Déficit de R&D
- D'image (« NIMBY » au nord, « malédiction des matières premières » au Sud)
- De « cycle long » du développement minier et métallurgique, après les découvertes de nouvelles ressources

Il est significatif que les entreprises des NPI (Brésil, Inde, Chine...) centrées sur l'amont minier plus profitable ces dernières années du fait de la reprise des cours aient pu racheter celles qui s'étaient concentrées sur l'aval « high tech » (ex. français : acier, aluminium ; évité de justesse pour l'uranium). Le manque de politique française sur les ressources minérales, alors qu'il n'y a pas encore de politique européenne est un sérieux handicap. A cet égard, on peut souligner l'initiative de la Commission qui propose de mettre en œuvre une politique communautaire de gestion des ressources minérales. L'émergence d'entreprises européennes est une nécessité ; celles des pays scandinaves peuvent constituer le point de départ pour une ré-industrialisation.

Il serait par exemple possible de créer un groupe intergouvernemental (GIER sur le modèle du GIEC) chargé de mettre à jour une vision globale des ressources pour soutenir l'émergence d'une politique de développement durable et un assainissement de l'économie des matières premières. De fait, si les Etats-Unis sont les seuls à s'être dotés d'une capacité de vision stratégique des ressources planétaires, seule la Chine, contrastant avec les pays occidentaux, semble aujourd'hui en mesure d'aligner en même temps les moyens financiers, politiques et humains nécessaires. Autant dire qu'après le règne des multinationales anglo-saxonnes ces dernières années, on s'achemine vers une maîtrise asiatique des ressources minérales de la planète.

Au total, notre responsabilité actuelle est de convaincre nos dirigeants de l'impérieuse nécessité d'établir une politique européenne, elle-même assise dans le cadre d'une initiative globale. Au-delà des intérêts industriels pour une maîtrise des approvisionnements et des coûts, **il faudra en tout état de cause, dans une optique de développement durable, veiller à maintenir sur le long terme des prix relativement élevés, tant pour des raisons techniques que pour conforter la contribution de l'exploitation des ressources au développement des pays concernés.** Il faut en effet parvenir à lier

¹⁰⁶ La gîtologie, comme la métallogénie, sont les sciences portant sur l'origine et la répartition géologique des gisements des matières premières minérales.

les prix à la rareté physique réelle. Voilà en tout état de cause un enjeu de taille pour la génération à venir et un vrai enjeu pour la formation et la recherche.

POINT D'ETAPE

Récapitulatif des controverses sur les ressources minérales (hors ressources fossiles et nucléaires)

Ressources minières métalliques et minéraux industriels

Il n'existe pas à proprement parler de controverse explicite concernant ces ressources, si ce n'est une inquiétude émanant des entreprises industrielles de production de biens et services, notamment dans le domaine de l'énergie, et plus particulièrement du stockage de l'électricité ou des énergies renouvelables : Lithium pour les batteries, Terres rares pour les aimants permanents, groupe du platine, silice pure...

Il émerge aussi un courant écologique généralement hostile à toute forme d'exploitation du sous-sol, se réfugiant derrière la « malédiction des matières premières », qui en fin de compte converge avec l'absence de politique industrielle de notre pays ces dernières années. Cela concerne le territoire national comme les stratégies géopolitiques internationales.

L'exploitation des ressources minérales se concentrant dans les pays du sud, et étant de plus en plus le fait d'opérateurs issus des pays émergents, la question de la gouvernance se pose avec d'autant plus d'acuité :

- gouvernance locale et au niveau des Etats concernés, pour que la rente minière – captée aujourd'hui par les gouvernants, voire les guerres ou les filières criminelles - bénéficie au développement des populations concernées,
- et gouvernance globale, pour réduire les spéculations financières et parvenir à une économie traduisant mieux, par les prix, la rareté réelle des substances

La controverse porte aujourd'hui en réalité sur le bien-fondé des politiques européennes et plus particulièrement françaises qui, depuis une vingtaine d'années se traduisent par un désinvestissement dans l'ensemble du secteur minier, qui rend l'économie industrielle dépendante de filières de productions dans les mains de géants miniers étrangers (groupes australo-américains, chinois, brésiliens, indiens...).

Elle porte ainsi sur les capacités, non pas tant concernant les limitations des ressources du sous-sol en général, mais plutôt l'organisation des filières industrielles (notamment pour le recyclage, la recherche de nouveaux gisements ou la mise au point de procédés propres et moins consommateurs d'énergie) et le renouvellement de ressources humaines compétentes (disparition des filières de formation).

Elle porte enfin sur la relation aux pays producteurs du tiers monde, pour lesquels la mine doit être un facteur de développement, ce qui nécessite de payer ces ressources à leur juste prix (incorporant le développement social et environnemental) et d'assurer une répartition équitable de la rente minière.

Une transition vers une économie écologique ne repose pas exclusivement sur un simple nouvel équilibre de l'homme avec les milieux naturels mais nécessite une réflexion approfondie sur nos

politiques industrielles et minières. Il est indispensable de prendre en compte les questions d'approvisionnement en matières premières indispensables aux « filières vertes », qu'il s'agisse de métaux nouvellement stratégiques (lithium, terres rares, groupe du platine...) ou de matériaux minéraux (silice, carbone...). Et ce, dans une optique de développement induit pour les peuples des pays du Sud disposant de ces ressources.

On mesure la complexité et la difficulté réelle de l'enjeu, en termes de développement durable, quand l'initiative en la matière est aujourd'hui essentiellement dans les mains des entreprises issues des pays émergents.

Matériaux de construction

Pour la mise en œuvre des politiques d'efficacité énergétique dans l'habitat et le tertiaire, les filières de construction, qu'il s'agisse de constructions neuves ou de rénovation de l'ancien, nécessiteront le recours accru à des matériaux de construction qui ne seront pas tous issus de la biomasse. De même, les politiques de transports nécessiteront des travaux de génie civil. Toutes activités consommatrices de matériaux de construction. Certes une partie des besoins pourra être couverte par un recours accru aux filières de recyclage, mais il faudra aussi disposer de sites d'extraction à proximité des zones de consommation pour éviter les coûts de transports excessifs de pondéreux.

Les controverses concernant l'ouverture de sites d'extraction de matériaux de construction, particulièrement vives du fait de la réduction du nombre des sites et de la croissance de production des sites en activité, devront en conséquence être affrontées dans un cadre négocié à la faveur des agendas 21 locaux. Une voie pour un développement durable urbain est de favoriser conjointement l'extraction de ces matériaux du sous-sol urbain en même temps qu'une politique de développement de l'usage de l'espace souterrain ainsi libéré (galeries de métro, lignes de transport de marchandises, sites de stockage, galeries marchandes...).

Les conclusions pour l'étude

Deux niveaux de réflexion sont nécessaires selon l'échelle à laquelle la question des ressources minérales est abordée :

❖ Echelle internationale

- **Globalement, les ressources minérales sont des ressources finies mais qui ne sont pas exposées à la rareté comme contrainte physique forte, même si les disponibilités varient fortement d'une ressource à l'autre. En effet, ce sont des ressources recyclables et réutilisables, qui ne disparaissent pas lors de leur utilisation.**
- **Néanmoins, il existe une réelle vulnérabilité stratégique du fait de l'inégale répartition des ressources sur terre. Les coûts d'extraction d'un grand nombre de ressources minérales iront en augmentant, il est donc essentiel d'économiser et de recycler ces ressources indépendamment de la question de leur raréfaction.**
- **Compte tenu de leur répartition, les ressources minérales apparaissent comme un facteur essentiel de**

développement des pays du tiers monde ; elles doivent être considérées comme telles par les institutions internationales, les Etats et les entreprises minières. L'enjeu en termes de gouvernance internationale est fondamental afin que le pillage actuel des matières premières du Sud cesse.

❖ Echelle européenne et nationale

Au plan Européen, il est grand temps qu'une politique voie le jour en la matière. Non seulement pour permettre la mise en œuvre de la transition écologique, qui nécessite la production de diverses substances minérales qui ne peuvent être issues du recyclage du fait de leur nouveauté industrielle. Mais aussi pour un meilleur équilibre en termes de gouvernance à travers les politiques de coopération Nord-Sud. Avec une vision géostratégique incluant la prise en compte des pays émergents, dont les entreprises tendent à dominer le secteur minier.

Pour la France en particulier, il s'agit de :

- Reprendre une politique d'acquisition de connaissance moderne de son propre sous-sol, et d'encouragement aux activités extractives conçues dans un contexte technologique, environnemental et social attrayant ;
- Prendre part à une dynamique européenne en construction, sans hésiter à transférer au niveau de l'UE les compétences et les moyens d'action nécessaires (vision stratégique, géopolitique, diplomatie des matières premières...)
- Agir au sein des instances internationales pour obtenir les orientations dégagées ci-dessus, notamment en matière de bonne gouvernance.
- Informer et sensibiliser sur l'enjeu stratégique que représentent les ressources minérales en vue d'assainir le débat public, développer la formation et la recherche, pour nos concitoyens comme pour répondre aux besoins des pays du sud et des émergents.

Chapitre 3 : La problématique énergétique : quelle perspective pour le XXI^{ème} siècle ?

***Préambule** : les ressources énergétiques présentent plusieurs particularités qui exigent un traitement spécifique. D'abord, c'est assurément le domaine (notamment les énergies fossiles et plus particulièrement la plus « facile » d'usage : le pétrole) où la contrainte de ressource est la plus importante et la plus rapprochée dans le temps. Elle génère en outre une forte contrainte au plan des émissions de gaz à effet de serre.*

En conséquence, il faudra aborder non seulement la contrainte sur les ressources énergétiques mais également la trajectoire qu'elle suivra dans les années à venir. Identifier les effets économiques et financiers que prendra cette confrontation au déclin des ressources permettra également de préciser les modalités de la transition vers une économie écologique.

On doit distinguer ici le cas des **hydrocarbures** (pétrole et gaz), du **charbon** et **autres composés carbonés** (hydrates de carbone, gaz de schistes, sables asphaltiques, etc.), d'une part, et des **minerais radioactifs** de l'autre (essentiellement l'Uranium aujourd'hui, le Thorium demain peut-être, pour les centrales nucléaires), en ce qui concerne les ressources minérales. Mais les ressources énergétiques ne se limitent pas aux ressources minérales fossiles, même si c'est elles qui dominent la production et la consommation mondiale aujourd'hui (à plus de 75%) : certaines ressources énergétiques sont renouvelables (hydraulique, solaire, éolien, biomasse, géothermie) et feront donc l'objet d'un traitement dans cette partie.

Parmi l'ensemble des ressources minérales, c'est sur les combustibles fossiles que les problèmes de durabilité, en termes de limite des ressources – et d'impact de l'utilisation – se posent avec le plus d'acuité, notamment du fait que la substance est détruite par son usage (avec émission de gaz carbonique ou sous formes de produits de fission). A la différence de la plupart des autres ressources minérales, qu'il est possible de retrouver (et de recycler) dans la technosphère, celles-ci sont totalement perdues dès qu'elles sont utilisées. Or, ces matières premières carbonées résultent de la fossilisation de biomasse depuis le cambrien (premiers carbonates sédimentaires), accumulée dans la partie supérieure de l'écorce terrestre seulement, c'est-à-dire donc en quantités limitées. On est donc confronté aux limites de ces ressources, car passée une certaine profondeur dans la croûte terrestre, les hydrocarbures sont « craqués » du fait du gradient géothermique, et la « fenêtre à huile », puis la « fenêtre à gaz » se ferment. L'ordre de gravité des problèmes de limite des ressources est le suivant : pétrole, gaz naturel, puis combustibles solides.

Ce constat ne s'applique que partiellement au cas de l'uranium, car d'une part ce n'est pas en lui-même une substance fossile, mais ses meilleurs gisements étant associés à la matière organique, les ressources en Uranium à bonne teneur sont limitées. En outre, l'Uranium radiogénique est « brûlé » dans les réacteurs, et donc non recyclable pour l'essentiel (voir néanmoins l'exception de la filière MOX) ; les matières radioactives ne deviendront recyclables qu'en cas de maîtrise future de la filière surgénératrice.

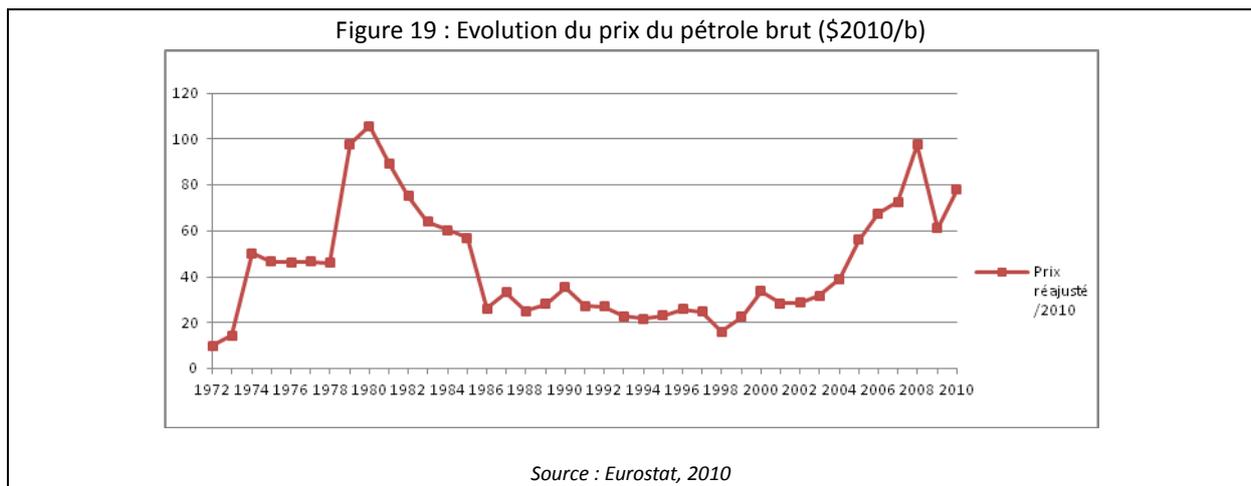
L'évolution des prix des énergies

Commençons par reconstituer une chronique précise des évolutions des cours depuis 1970 (en \$ 2010) pour les différentes ressources.

Evolution du prix des hydrocarbures (pétrole et gaz)

❖ Le pétrole

Les prix du pétrole brut ont retrouvé en 2011 le maximum historique atteint en 1980 après le second choc pétrolier.



Cette évolution résulte des causes suivantes :

1. Les chocs pétroliers de 1973 et 1979

La forte croissance de la consommation de pétrole pendant les « trente glorieuses » et jusqu'au début des années 70 (fort développement de l'automobile, construction de centrales électriques au fioul à la place du charbon, utilisation croissante du fioul pour le chauffage domestique), conjuguée à la concentration des ressources pétrolières pour les deux tiers au Moyen-Orient sont à l'origine des chocs de 1973 et 1979. Des tensions politiques dans le Moyen-Orient (guerre du Kippour en 1973 et guerre Iran-Irak en 1979) génèrent des tensions sur l'approvisionnement, alors qu'il n'y a alors encore physiquement pas de difficulté à ce que l'offre suive la demande.

2. Le contre-choc pétrolier de décembre 1985

Le contexte est différent : des investissements massifs de substitution du pétrole ont été réalisés depuis 1973 (production électrique nucléaire, passage au gaz de l'industrie pour les usages thermiques...); des **progrès d'économie d'énergie** sont réalisés (chauffage des bâtiments, procédés industriels, usages sous chaudière...) avec la mise en place de la 1^{ère} réglementation thermique en 1974 et les pays industrialisés diversifient leurs sources d'approvisionnement pétrolier (mise en exploitation des gisements de la Mer du Nord, du Golfe du Mexique, dans les pays du Golfe de Guinée...).

Parallèlement, des progrès dans les techniques d'exploitation pétrolière permettent de passer de 25% à 35% en moyenne la proportion de pétrole que l'on sait extraire d'un gisement, ce qui équivaut à

une augmentation des ressources de 40 % ! Cette amélioration des performances d'extraction rencontrera ultérieurement des limites.

La chute du système soviétique met sur le marché d'abondantes ressources énergétiques et minérales, du fait de la vente des stocks et de l'effondrement du système intérieur, alors que la croissance économique des pays industrialisés marque un net ralentissement. Il en résulte au début des années 80 à la fois une **surcapacité de raffinage et de production électrique dans les pays industrialisés**.

3. Les bas prix du pétrole de la période 1985 – 2003

La croissance économique reste en moyenne de 2% dans les pays industrialisés tout au long de cette période alors que les progrès d'économie d'énergie et de substitution par le gaz se poursuivent dans les années 90 sur la lancée de la période précédente (mais à un moindre rythme).

L'effondrement de l'ex-URSS se traduit par une chute de sa production pétrolière mais plus encore de sa consommation, et la mise à disposition d'importantes ressources en pétrole et en gaz sur les marchés occidentaux et chinois. Le marché est alors bien approvisionné tandis qu'il y a peu d'investissements à faire, ce qui se traduit par **des prix bas mais aussi par un quasi arrêt de la prospection pétrolière**. Les compagnies minières se rachètent les unes les autres et se développent des **oligopoles** qui font croître leur portefeuille par rachat de gisements existants plutôt que par de nouvelles découvertes.

4. La hausse des prix depuis 2003

Si les causes qui ont généré les bas prix depuis 1985 perdurent en partie, d'autres facteurs agissent maintenant en sens inverse :

- l'insuffisance d'efforts de prospection de la part des Etats et des compagnies pétrolières aboutit à une faible croissance de l'offre ;
- d'importantes zones de production pétrolière entrent en déplétion (Etats-Unis, Mer du Nord, Indonésie) ;
- du fait de leur forte croissance économique, les pays émergents représentent une part croissante de la demande mondiale de pétrole ;
- ainsi, alors que l'offre de pétrole ne croît en moyenne que de 1,5 % par an, la demande de pétrole s'installe dans une zone de 2 à 4% selon les années.

5. Une évolution erratique des prix ces dernières années

La hausse des prix a connu son maximum **en août 2008 avec 147 \$ le baril**. Cette hausse, simultanée avec une augmentation générale des prix des matières premières et une hausse des cours des céréales (grave sécheresse en Australie) a fortement impacté le budget des ménages dans les pays les plus consommateurs d'énergie. Cela a donc joué un rôle dans le déclenchement de la crise des sub-primes (dont les causes profondes résident dans le fonctionnement du marché immobilier et hypothécaire américain, lui-même générateur d'une croissance des consommations par augmentation des distances domicile travail, alors que la croissance des prix des carburants rendait les populations concernées insolubles).

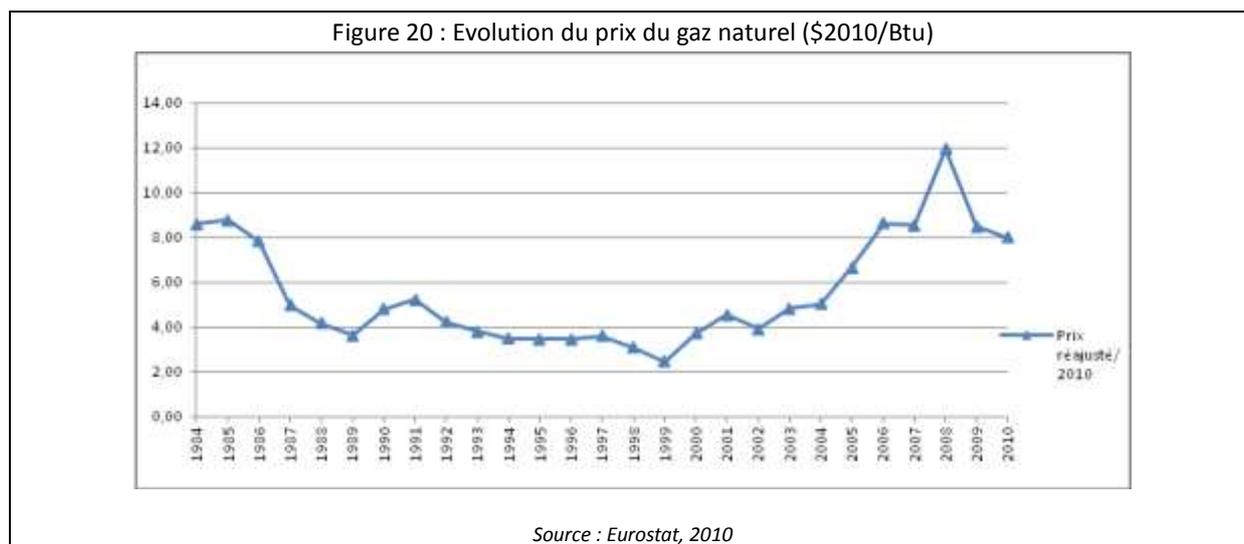
La grave crise financière et économique que cela a déclenchée a ensuite provoqué une forte chute des prix du pétrole et des énergies indexées sur celui-ci. Le cours du pétrole a plongé à 40 \$/bl en novembre 2008.

Depuis, alors que la crise économique perdure et s'étend à la perte de crédibilité des dettes publiques et que la croissance économique est nulle dans les pays développés et baisse un peu dans les pays émergents, les prix du pétrole ont progressivement remonté pour retrouver le niveau de 100 \$/bl. Les prix, fin 2011, seront supérieurs à ceux du record de 1981 en dépassant le niveau des 100 \$ le baril en moyenne annuelle, et ce malgré une croissance ralentie dans les pays d'ancienne industrialisation. Ce niveau sera supérieur en France au niveau moyen de 2008 (et ce d'autant que la parité euro/dollar est descendue à 1,30).

Il sera essentiel d'analyser les causes de ce maintien des prix du pétrole à un niveau élevé, mais il est clair qu'on commence à se heurter aux limites des capacités physiques (effet du peak oil).

❖ Le gaz naturel

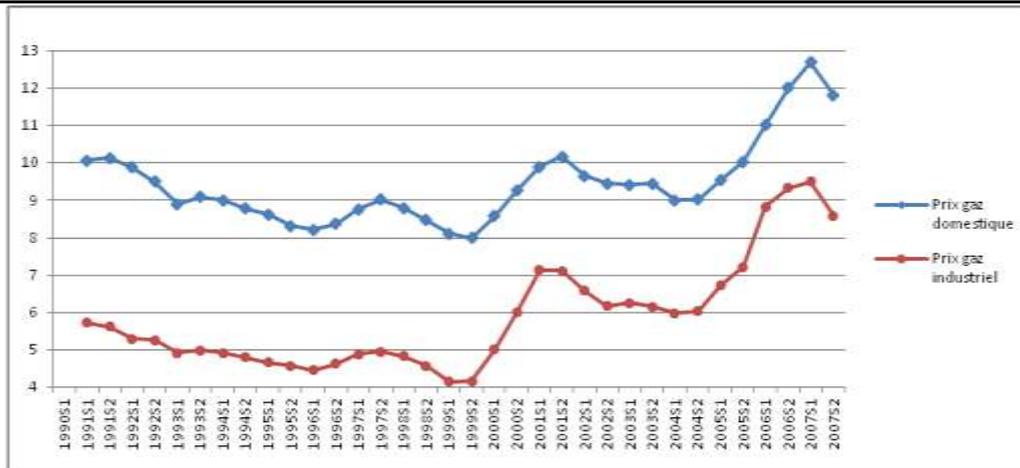
Comme le prix du pétrole reste le cours directeur des autres énergies, les prix du gaz naturel suivent une courbe assez semblable.



En outre, le gaz naturel présente les spécificités suivantes :

- En comparaison avec le pétrole, le gaz naturel se transporte difficilement, en conséquence les liens contractuels entre producteurs et consommateurs sont basés sur des contrats de long terme ; ceux-ci comprennent des formules d'indexation par rapport au prix du pétrole.
- Les acheteurs ne peuvent que difficilement faire évoluer les sources d'approvisionnement du fait des contraintes logistiques (construction de gazoducs, de ports méthaniers...).
- Néanmoins, une moindre corrélation des prix du gaz par rapport aux prix du pétrole apparaît dès lors qu'une diversification des sources d'approvisionnement devient possible (développement du marché du gaz naturel liquéfié en provenance d'Algérie et du Qatar).
- L'accident nucléaire de Fukushima en mars 2011 va avoir pour effet de conforter la place du gaz comme combustible pour la production d'électricité (avec une émission de CO₂ deux fois moindre que le charbon). Cela devrait contribuer à maintenir le prix du gaz à un niveau élevé du fait d'une demande croissante notamment allemande et japonaise.

Figure 21 : Evolution prix gaz France depuis 1990 (cEUR2009/m3)

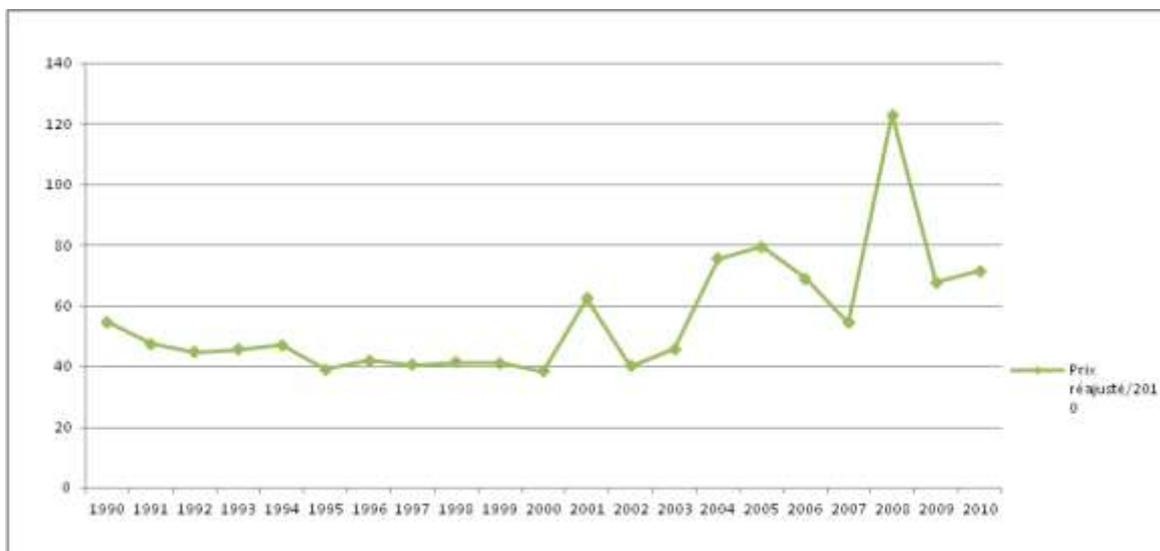


Source : Eurostat, 2010

❖ Le charbon

Le charbon est à la fois **l'énergie fossile la plus abondante et la mieux répartie dans le monde**. Il n'y a donc pas de raison que les cours de celui-ci varient fortement. Néanmoins, le charbon a par comparaison avec le pétrole et le gaz **un moindre pouvoir calorifique** (en quantité d'énergie produite par tonne de matière combustible) et une **plus forte émission de gaz à effet de serre** (en CO₂émis); les conditions de transport sont aussi les plus coûteuses (en termes d'infrastructures notamment).

Figure 22 : Evolution du prix du charbon (\$2010/t)



Source : Eurostat, 2010

Il existe en fait un effet d'aubaine qui fait que les cours du charbon suivent les cours du pétrole (avec une amplitude modérée). Le facteur déterminant concernant la demande mondiale de charbon va finalement être la **pression de la communauté internationale en faveur de la réduction des émissions de gaz à effet de serre**. La maîtrise de la technique de séquestration du carbone (injection du CO₂ dans des gisements de pétrole et de gaz déplétés et dans des nappes aquifères profondes) devrait atteindre un stade industriel vers 2030.

Plus les cours des hydrocarbures seront élevés, plus la tentation d'utiliser le charbon sera forte. Le lien qui existe entre les cours du pétrole et ceux du gaz naturel

Il s'agira là de creuser en quoi les cours du gaz sont liés aux cours du pétrole. Il y a à distinguer ce qui ressort des contrats à long terme et des phénomènes sur les marchés spot*.

Selon l'analyse des experts de l'IFP Energies nouvelles – Platts, on peut interpréter l'impact du prix du pétrole sur le marché gazier de la manière suivante. **Le prix du gaz importé en Europe est historiquement indexé sur les produits pétroliers, et donc indirectement sur le pétrole.** Depuis le début de la crise financière de 2008, on assiste à un découplage très marqué de ce prix par rapport aux cotations court terme, NBP pour le Royaume-Uni et Henry Hub pour les États-Unis.

Plusieurs facteurs sont à l'origine de ces écarts :

- le pétrole, qui avait fortement chuté début 2009 (40 \$/b environ) connaît depuis une progression régulière (74 \$/bl fin 2009, 80 \$/bl en 2010, 100\$/bl en 2011) ;
- les marchés spots du gaz ont fortement réagi à la crise passant par des niveaux particulièrement faibles mi-2009 (10 €/MWh ou 4 \$/MBtu) faute de demande et dans un contexte d'excédents d'offre ;
- de nouvelles références se sont mises en place en 2010 : concurrence charbon pour le marché anglais, ce qui pousse le NBP à la hausse (le charbon est passé de 71 \$/t en mars à 116 \$/t fin 2010) ; coût des gaz non conventionnels aux États-Unis, dans un contexte d'excédents d'offre, ce qui a maintenu les prix autour de 4 \$/MBtu (hors effet hiver 2009/2010).

Avec des prix potentiellement élevés du pétrole (80 \$/bl et plus), les prix indexés devraient se maintenir en 2011 au-dessus des prix spots, même en tenant compte d'une part d'indexation sur le prix court terme (10 à 15 %). Ainsi, sur la base des cotations de fin novembre, les prix indexés pourraient se situer autour de 26 €/MWh contre 20 à 21 €/MWh pour le NBP et 12 €/MWh (4,5 €/MBtu) pour le Henry Hub. La pression risque ainsi de rester forte en 2011 pour réduire les achats long terme ou renégocier une nouvelle fois les contrats afin de renforcer un peu plus la part spot.

L'évolution des prix de l'électricité

L'évolution des prix de l'électricité dépend de facteurs très différents des combustibles fossiles. D'abord, l'électricité est un produit non stockable (sauf sous forme de retenue d'eau dans les barrages), ce qui fait que le prix d'électricité dépend du niveau instantané de la demande et l'électricité se transporte très mal (guère au-delà de 1 000 km).

Ensuite le prix dépend :

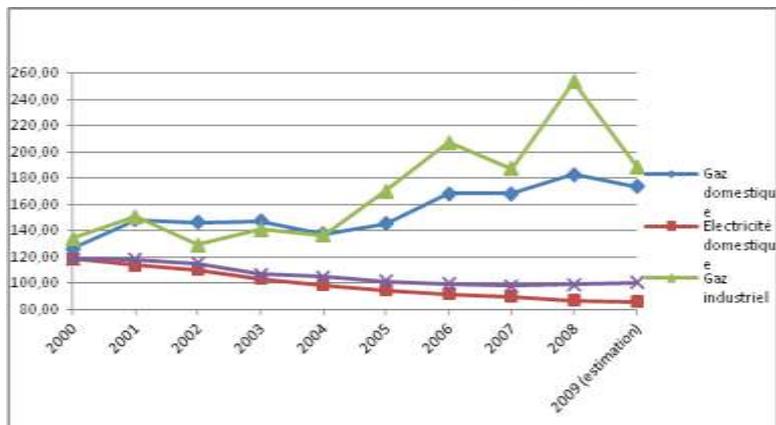
- des structures de production, selon le mix de recours aux combustibles fossiles, au nucléaire, à l'hydraulique et aux autres énergies renouvelables ;
- des structures de variation de la demande entre les moments de la journée et surtout les saisons (une variation amplifiée par le développement du chauffage électrique dans le résidentiel et le tertiaire) ;

Enfin, dans un marché maintenant soumis à la concurrence, le prix de l'électricité en pointe dépend d'un marché spot.

❖ Au niveau européen

Les deux graphiques (figures 24 et 25) qui suivent indiquent les évolutions des prix des énergies de réseau en Europe.

Figure 23 : Evolution des tarifs de l'électricité et du gaz depuis dix ans (EUR 2009)

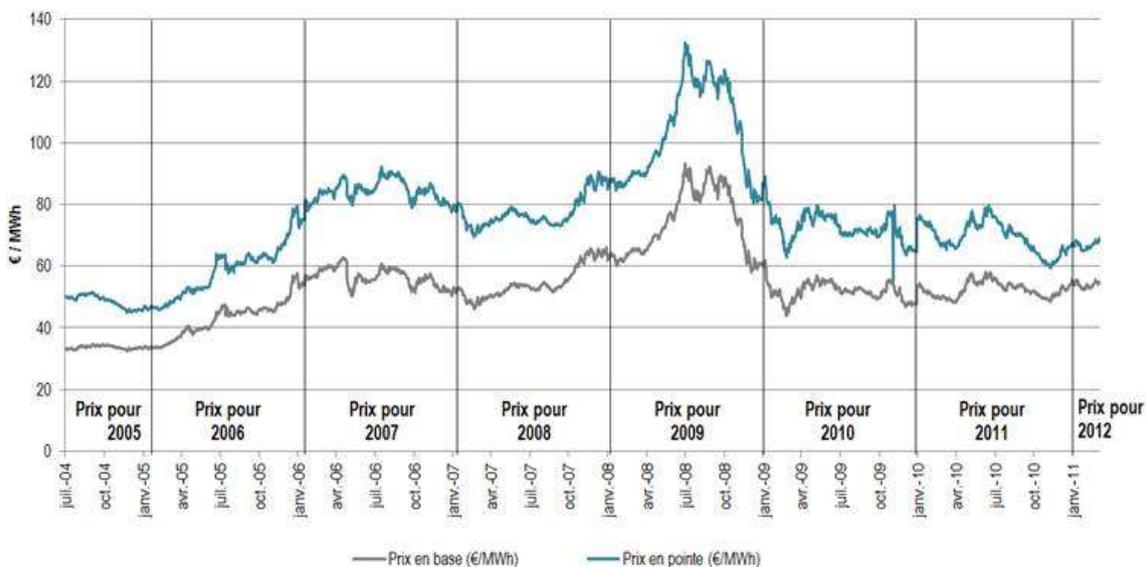


Source : Eurostat, 2010

On constate une baisse des prix de l'électricité du fait essentiellement de l'amortissement des investissements massifs réalisés entre 1973 et 1985 (réacteurs nucléaires, centrales à charbon, turbines à gaz selon les pays) tandis qu'il y a eu pendant la période suivante peu de besoins d'investissements à réaliser du fait de la faible croissance de la demande.

Il n'y a évidemment pas de marché mondial de l'électricité. Les prix diffèrent fortement selon les régions du monde et selon les sources d'énergie primaire utilisées.

Figure 24 : Evolution des prix de gros de l'électricité à un an (a priori en euros courants)

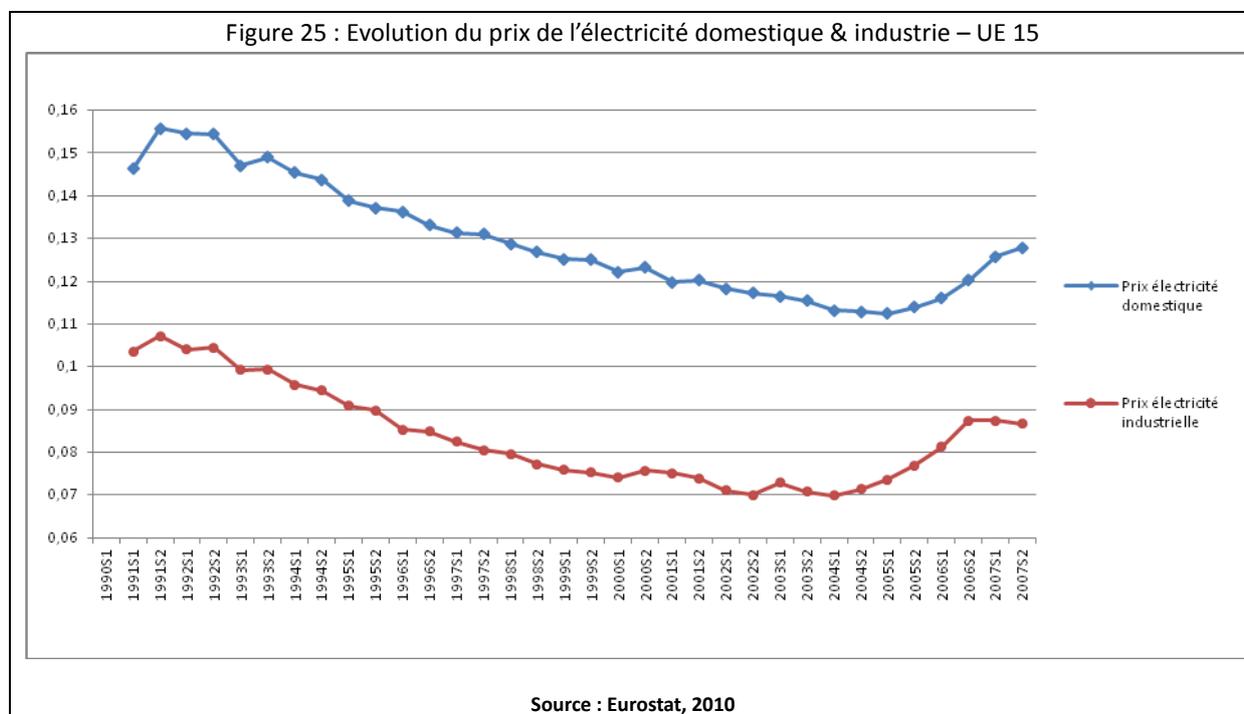


www.observatoire-electricite.fr

Source: PowerNext/EEX, mars 2011 - Observatoire de l'industrie électrique

Il s'agit de l'évolution des prix de gros à terme (aussi appelés "futures" en anglais) pour la livraison d'énergie électrique en "base"¹⁰⁷ ou en "pointe"¹⁰⁸ sur une période d'un an, constatée sur la bourse française de l'électricité. Ils se décomposent selon que le MWh est acheté en heure pleine ou creuse. Ces définitions diffèrent fortement de celles des électriciens qui distinguent la base, la semi-base et la pointe (moins de 400 heures par an).

La différence de prix entre les produits de "base" et de "pointe" est en moyenne de 22€ sur la période observée. Après avoir connu une croissance forte sur la période 2006-2008 (pic atteint pour le produit de "base" à 92,13 €/MWh le 28 août 2008), le prix de gros de l'électricité sur la bourse s'est stabilisé depuis début 2010 en moyenne à 52,4 €/MWh pour le produit « base » et 72,2€/MWh pour le produit « pointe ». Cette réduction découle de l'amortissement des ouvrages construits pour l'essentiel entre 1973 et 1985 et l'absence d'investissements à réaliser dans la période suivante (surcapacité à résorber). On assiste à une remontée dans la période récente du fait de l'augmentation des prix du gaz naturel.



❖ Au niveau de la France

Les variations sont fortes car la structure de la production électrique a fortement changé. Les statistiques INSEE du prix électricité montrent une diminution de 50% du prix de l'électricité de 1960 à 2006 (prix représenté non actualisé pour les graphiques qui suivent - 26 et 27) :

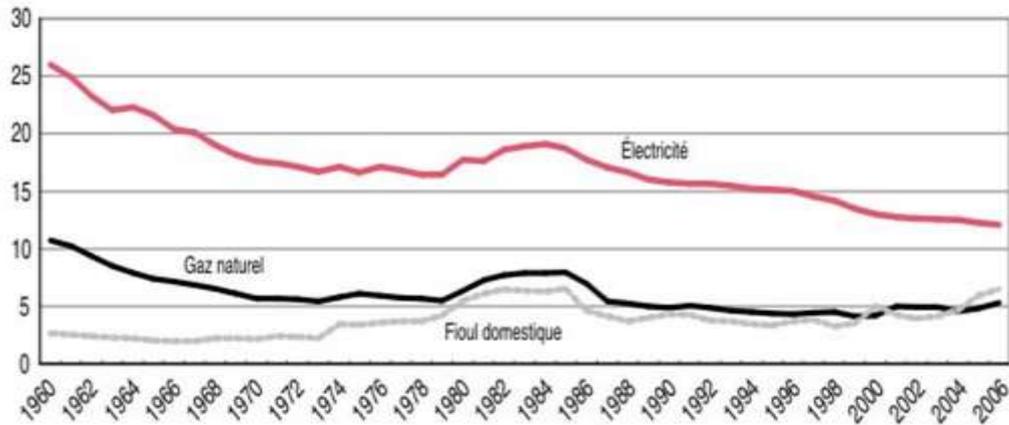
¹⁰⁷ Sur les bourses de l'électricité, le produit standard intitulé "base" correspond à une livraison de puissance constante pendant 24h.

¹⁰⁸ Sur les bourses de l'électricité, le produit standard intitulé "pointe" correspond à une livraison de puissance constante pendant 12h, chaque jour de 8h à 20h du lundi au vendredi.

Figure 26 : Evolution des prix du gaz, de l'électricité et du fioul (TTC)

■ **Graphique 3 : Évolution des prix TTC du gaz, de l'électricité et du fioul**

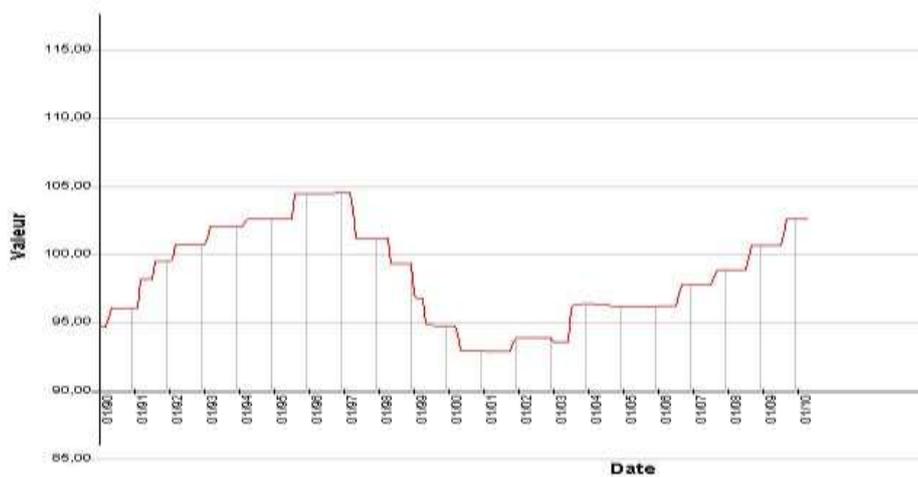
prix de 100 kWh PCI (pouvoir calorifique inférieur)
(en euros constants 2006)



Les prix en niveau 2006 concernent des consommations types. Ils ont été rétropolés à l'aide de l'évolution annuelle des prix de chaque énergie.

Sources : ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables; base de données Pegase, Insee.

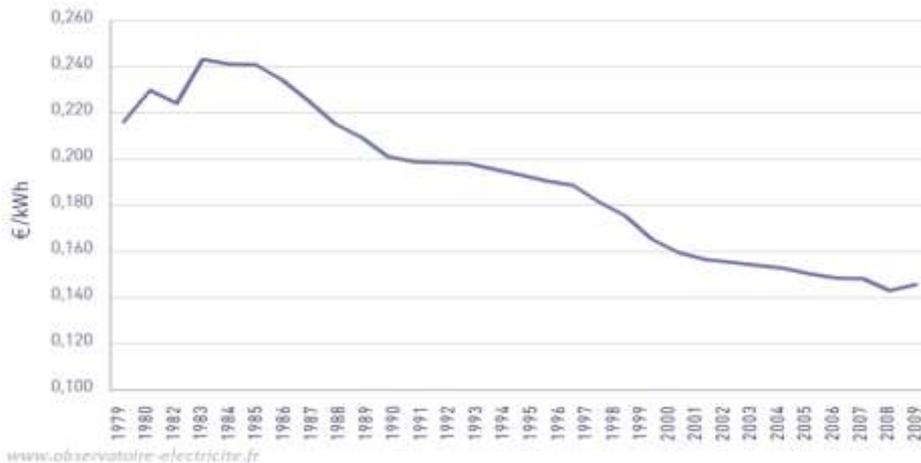
Figure 27 : Prix de l'électricité réglementé en indices, avec base 100 à mi 1998



Source : INSEE

Ce graphique illustre l'évolution, depuis 1979, du prix de l'électricité pour les ménages en euros constants 2009. 1979 correspond en outre à la fois au maximum de mises en chantier de réacteurs nucléaires et au second choc pétrolier (guerre Iran – Irak).

Figure 28 : Evolution du prix de l'électricité pour les ménages en euros constants 2009



Source : Calculs UFE, 2010

Après une hausse jusqu'au début des années 80 justifiée par la réalisation des investissements du programme nucléaire français, les prix de l'électricité pour les ménages en euros constants 2009 (c'est-à-dire hors effet de l'inflation) ont baissé de 40% entre 1982 et 2009.

L'évolution future des prix des énergies renouvelables en fonction des progrès technologiques et de leur industrialisation progressive

La question de l'évolution des prix des énergies renouvelables se pose dans des termes très différents :

- Leur coût ne dépend pas d'une ressource ;
- Il est directement lié à la maturité de la technologie et à l'effet de série plus ou moins obtenu dans sa diffusion ;
- Néanmoins, il est clair que dans un marché compétitif, une hausse généralisée des prix des énergies peut avoir tendance à tirer à la hausse également les coûts des énergies renouvelables.

Il faudra comparer les prix rendus aux consommateurs et les coûts de production des équipements et identifier les marges constituées.

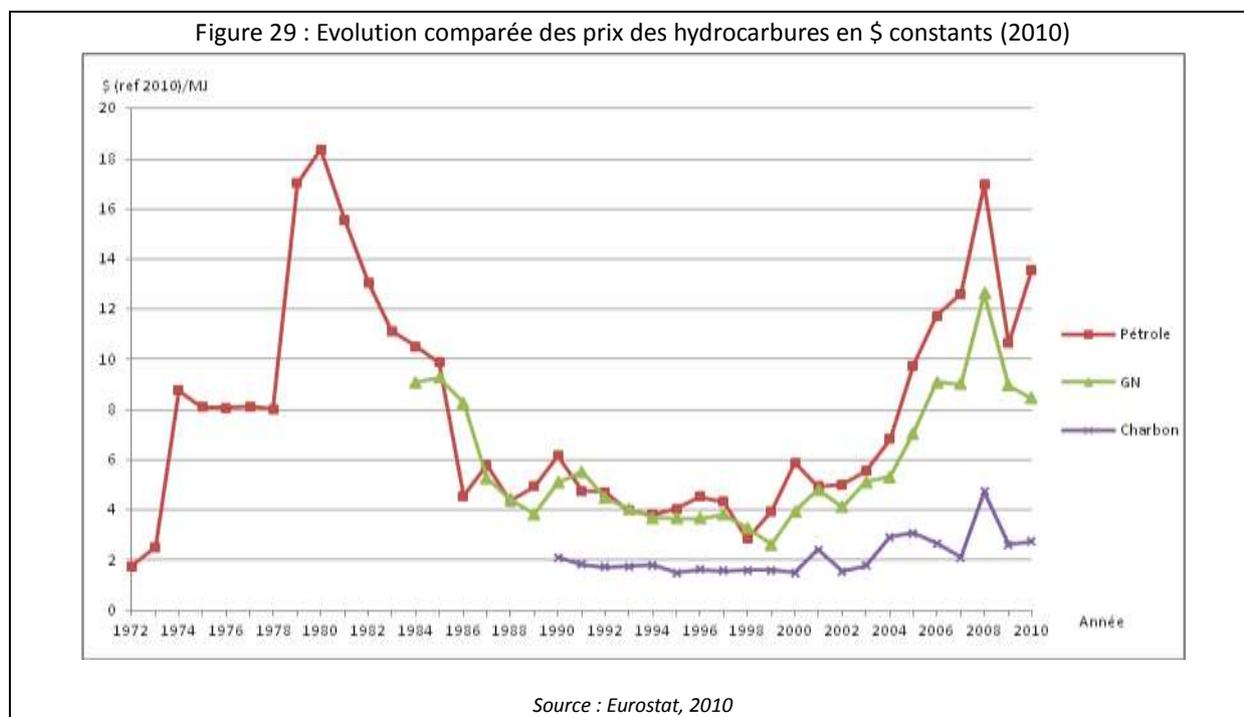
L'évolution générale des prix des énergies

On a pu constater clairement trois périodes :

- Pendant les années 90 et le début des années 2000, le prix des énergies est bas sous la triple impulsion du contre-choc pétrolier de décembre 85, de la surcapacité de production électrique et de l'amortissement des ouvrages de production.
- Cette tendance s'inverse nettement à partir de 2003 avec le début de la hausse du pétrole du fait de la dynamique de la demande mondiale, hausse qui entraîne celle des combustibles fossiles. Son effet sur les budgets est en partie masquée par une continuité de la baisse du prix de l'électricité en France.
- Nous sommes maintenant entrés dans une troisième période où le haut niveau des prix des combustibles fossiles s'accompagne d'une tendance à la hausse des prix de l'électricité. Et ce,

pas seulement de l'électricité de pointe largement indexée sur le gaz naturel, mais du fait de besoins considérables de réinvestissements dans le secteur électrique qui avaient été repoussés depuis la libéralisation du secteur en Europe. On verra plus loin que cette hausse du prix de l'électricité va être inévitablement amplifiée par le renouvellement à effectuer des ouvrages commandés en réponse au choc pétrolier de 1973 et par les travaux de mise en sécurité des sites nucléaires après l'accident de Fukushima.

Le graphique qui suit indique ces variations respectives du pétrole, du gaz et du charbon.



L'évolution de la consommation d'énergie

Evolution de la demande pétrolière et gazière

❖ Le pétrole

La consommation mondiale reste en forte hausse malgré la crise économique et financière :

- La consommation de pétrole a augmenté de 3,1% entre 2010 et 2011 ;
- La Chine est devenue le premier consommateur d'énergie avec une part de 20,3%.

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des consommations de pétrole (en millions de tonnes) sur la période 2000-2010

En millions de tonnes	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Amérique du Nord	1060	1061	1060	1082	1126	1131	1121	1125	1070	1019	1040
Amérique du sud et centrale	227	232	230	225	231	240	246	262	271	269	282
Union européenne	699	706	702	707	718	723	725	708	709	670	663

Ex URSS	180	180	181	184	187	185	193	194	201	193	202
Moyen-Orient	239	243	253	263	279	289	302	314	335	344	360
Afrique	117	118	121	124	129	135	134	141	147	151	156
Asie-Pacifique	991	997	1026	1062	1128	1145	1164	1202	1202	1204	1268
Total	3572	3597	3632	3707	3858	3910	3945	4007	3997	3908	4028

Source : BP Review, juin 2010

De ce tableau, on peut tirer des enseignements précieux pour l'analyse :

- Les consommations nord-américaine et russe restaient orientées à la hausse avant de marquer un net fléchissement après 2008. La consommation européenne qui connaît un plateau a été également sensible à la crise financière. Globalement l'effritement de la demande dans les zones qui précèdent a été assez faible : seulement 8%. Le rattrapage n'est pas achevé fin 2010.
- La croissance de la consommation mondiale est clairement tirée par la zone Asie-Pacifique, les pays du Moyen-Orient, l'Amérique du sud et centrale et l'Afrique. Avec une croissance particulièrement forte en 2010.
- Le gaz naturel

La croissance de la consommation de gaz naturel est encore plus spectaculaire puisqu'elle a atteint en 2011 7,4%.

On peut dégager de l'évolution des 10 dernières années les évolutions suivantes :

- On distingue clairement le décollage de la consommation gazière de l'Amérique du Nord avec la mise en exploitation en 2007 des exploitations de gaz de schistes ;
- La consommation européenne est assez stable ;
- Les zones de plus forte croissance sont l'ex URSS, le Moyen-Orient, l'Afrique et surtout la zone Asie-Pacifique dont la consommation a quasi doublé.

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des consommations de gaz naturel (en millions de tonnes éq. pétrole) sur la période 2000-2010

En millions de tonnes équivalent pétrole	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Amérique du Nord	721	691	716	708	711	705	702	740	746	733	767
Amérique du sud et centrale	86	91	92	97	106	111	122	121	127	122	133
Union européenne	396	407	406	426	437	445	438	433	441	413	443
Ex URSS	471	487	493	509	526	535	544	557	552	503	537
Moyen-Orient	168	186	196	206	222	251	262	273	299	310	329
Afrique	53	57	59	65	72	75	79	85	90	89	95
Asie-Pacifique	262	277	292	316	331	359	383	414	436	454	511
Total	2176	2217	2276	2353	2432	2511	2566	2661	2731	2661	2858

Source : BP Review, juin 2010

❖ Le charbon

La part du marché du charbon a atteint en 2011 son record depuis 1970 avec 29,%;

La Chine consomme 48,2% du charbon dans le monde. En outre, elle produit 66% de la production mondiale de charbon.

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des consommations de charbon (en millions de tonnes équ. pétrole) sur la période 2000-2010

En millions de tonnes équivalent pétrole	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Amérique du Nord	612	632	610	590	611	619	636	630	638	579	592
Amérique du sud et centrale	34	37	34	40	43	46	51	54	55	52	54
Union européenne	207	205	203	201	196	188	182	177	168	158	156
Ex URSS	197	208	199	213	219	226	237	239	253	233	244
Moyen-Orient	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Afrique	131	130	128	137	141	141	140	142	144	143	145
Asie-Pacifique	1147	1221	1281	1461	1659	1819	1966	2090	2180	2315	2509
Total	2353	2459	2478	2666	2893	3064	3237	3362	3470	3512	3731

Source : BP Review, juin 2010

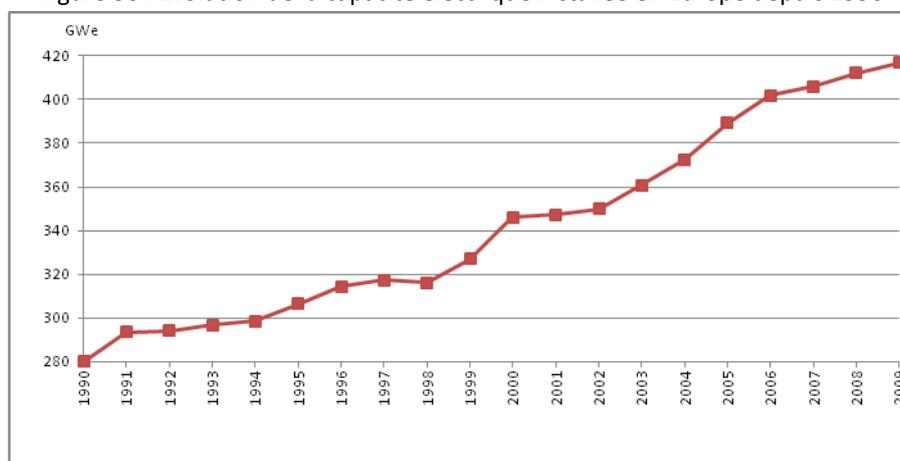
On peut en tirer les conclusions suivantes : un tassement de la consommation de charbon dans l'Amérique du Nord et dans l'Union européenne ; et l'essentiel de la consommation de charbon désormais localisée dans la zone Asie-Pacifique (2/3 de la consommation mondiale).

Evolution de la production électrique

La réflexion à effectuer sur l'électricité est d'une autre nature puisqu'il n'y a pas de marché mondial de l'électricité.

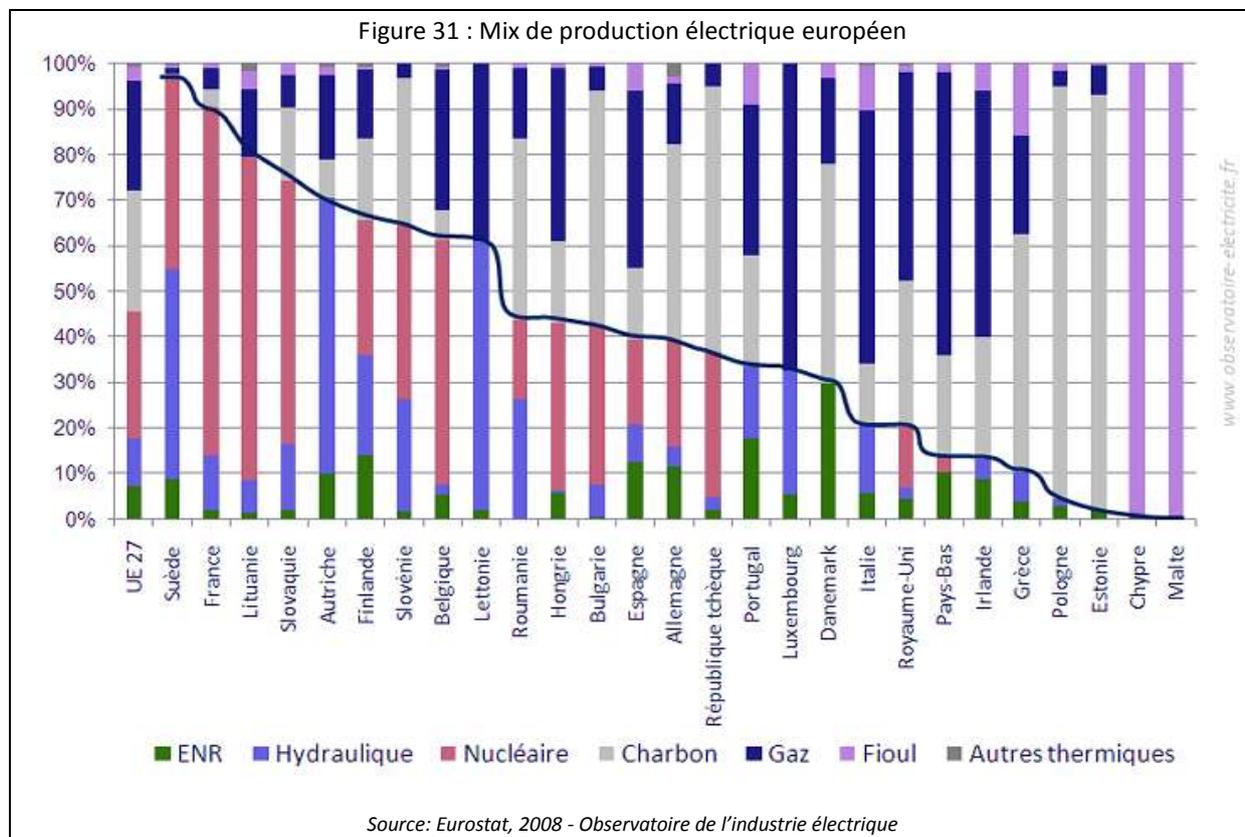
❖ Union européenne

Figure 30 : Evolution de la capacité électrique installée en Europe depuis 1990



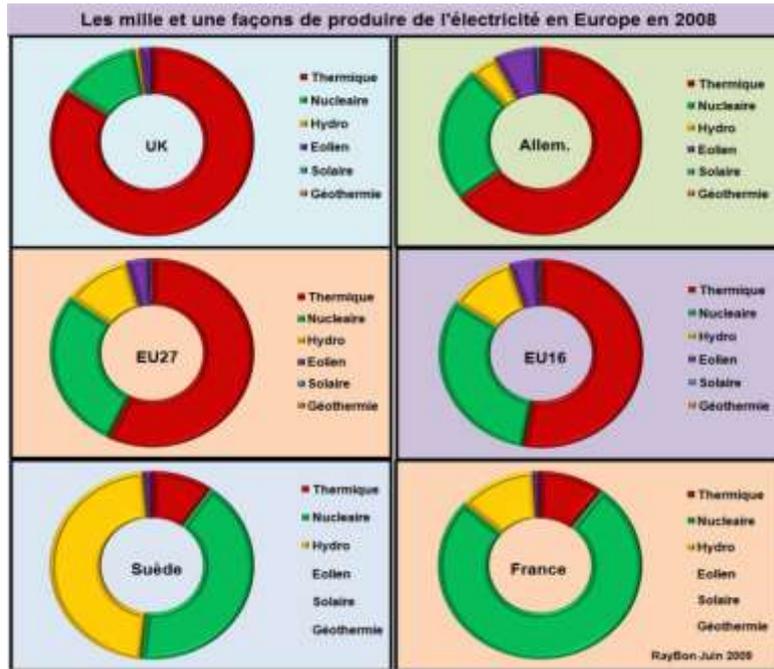
Source : Eurostat, 2010

En Europe, les mix énergétiques sont très variés, et, de fait, la teneur en carbone aussi. Par exemple, l'Autriche a un parc majoritairement hydraulique alors que la Pologne a un mix énergétique essentiellement à base de charbon. La France se situe en deuxième position en termes de production à partir d'énergies décarbonées juste après la Suède.



L'indicateur sous forme de trait dans le graphique délimite les sources de production faiblement carbonées (hydraulique, renouvelable, nucléaire) des sources plus carbonées (charbon, fioul ou GN). Les différences de structure de production électrique apparaissent ainsi très importantes selon les pays y compris au sein de l'Union européenne. On remarque que, du fait de son parc électronucléaire et sa production hydroélectrique, la France fournit un kWh faiblement carboné et dispose donc d'un grand avantage par rapport à ses voisins européens. Moins de 10 % de la production d'électricité française proviennent de sources fossiles. **Le mode de production de l'électricité en Europe est des plus variés, en fonction des ressources et des choix de chacun des pays, comme en témoigne la figure 32 ci-dessous.**

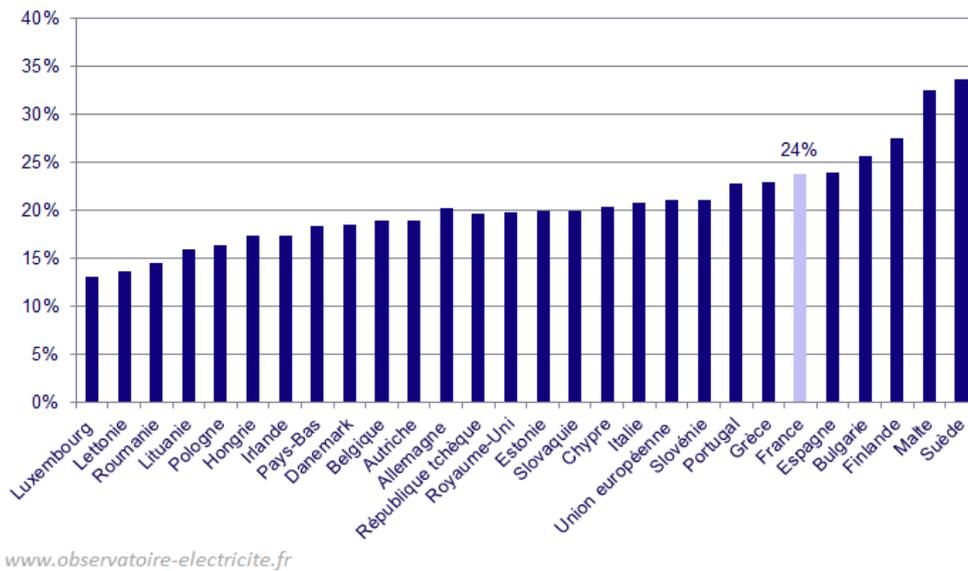
Figure 32 : Exemples européens de mode de production de l'électricité



Source : <http://www.leblogenergie.com/2009/06>

Depuis 1990, la majeure partie des équipements de production électrique européens ont été des turbines à gaz à cycle combiné.

Figure 33 : Part de l'électricité dans la consommation finale d'énergie en Europe



Source: Eurostat, 2008

La part de l'électricité dans la consommation finale d'énergie correspond au rapport entre la somme de toutes les consommations d'électricité (industrielle, transport et résidentiel/tertiaire) et la consommation finale totale d'énergie.

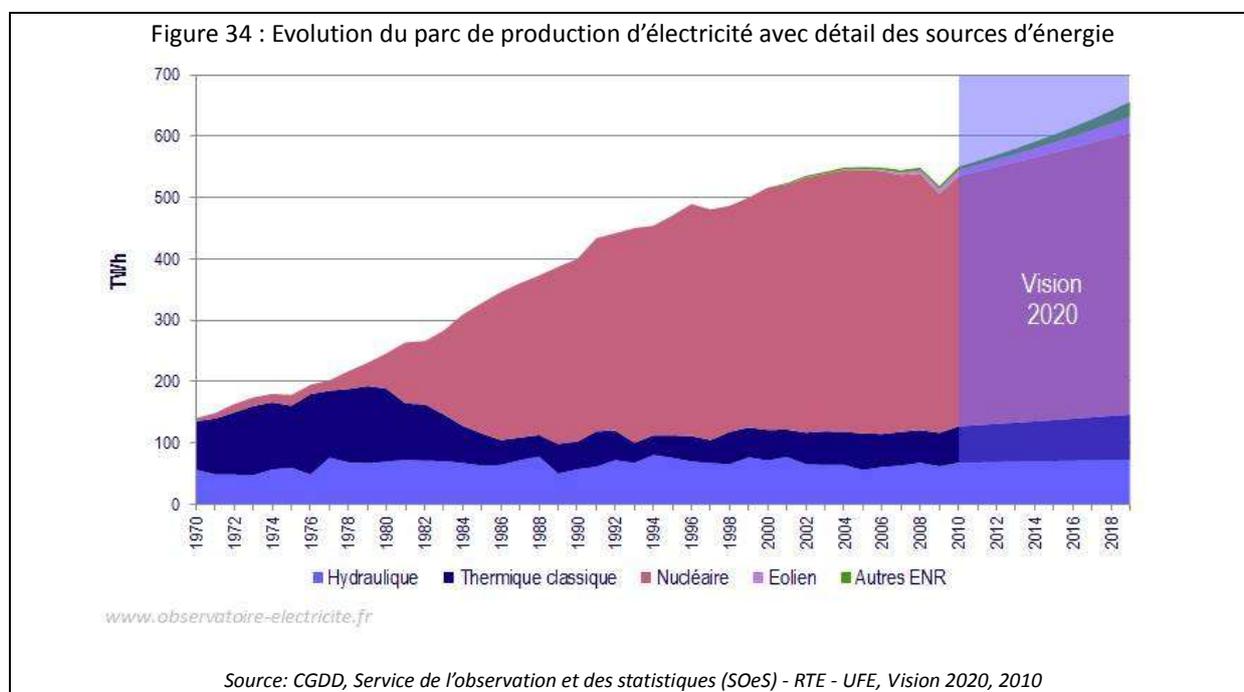
D'une manière générale depuis 40 ans, la part de la consommation d'électricité augmente pour les raisons suivantes :

- le développement des usages électriques et électroniques,
- la réduction des consommations thermiques du fait des économies d'énergie réalisées,
- les progrès effectués dans les procédés industriels qui s'accompagnent le plus souvent par un passage à l'électricité.

En Europe, la France fait partie des pays les plus consommateurs d'électricité, avec une part d'électricité de 24 % dans la consommation finale d'énergie. Les pays scandinaves (Suède, Finlande...) connaissent une très forte proportion de logements chauffés à l'électricité d'où la part prépondérante de l'électricité dans leur mix énergétique national. Les différentes politiques énergétiques nationales (transport, chauffage...) transparaissent donc dans la part de l'électricité dans la consommation globale d'énergie.

❖ La France

Le graphique présente l'évolution de la répartition des sources de production d'énergie électrique finale (production nette en sortie des centrales, hors services auxiliaires et pertes).



Les données de 1970 à 1997 sont issues de l'Observatoire de l'Energie et du Climat. Les données de la période 1998-2010 sont issues de RTE¹⁰⁹. Les données de la période 2011-2020 proviennent du scénario prospectif de l'UFE¹¹⁰ « Vision 2020 »¹¹¹.

On peut distinguer 3 phases dans l'histoire récente de la production électrique française :

- les années 70 encore marquées par une prépondérance du thermique classique et de l'hydraulique,

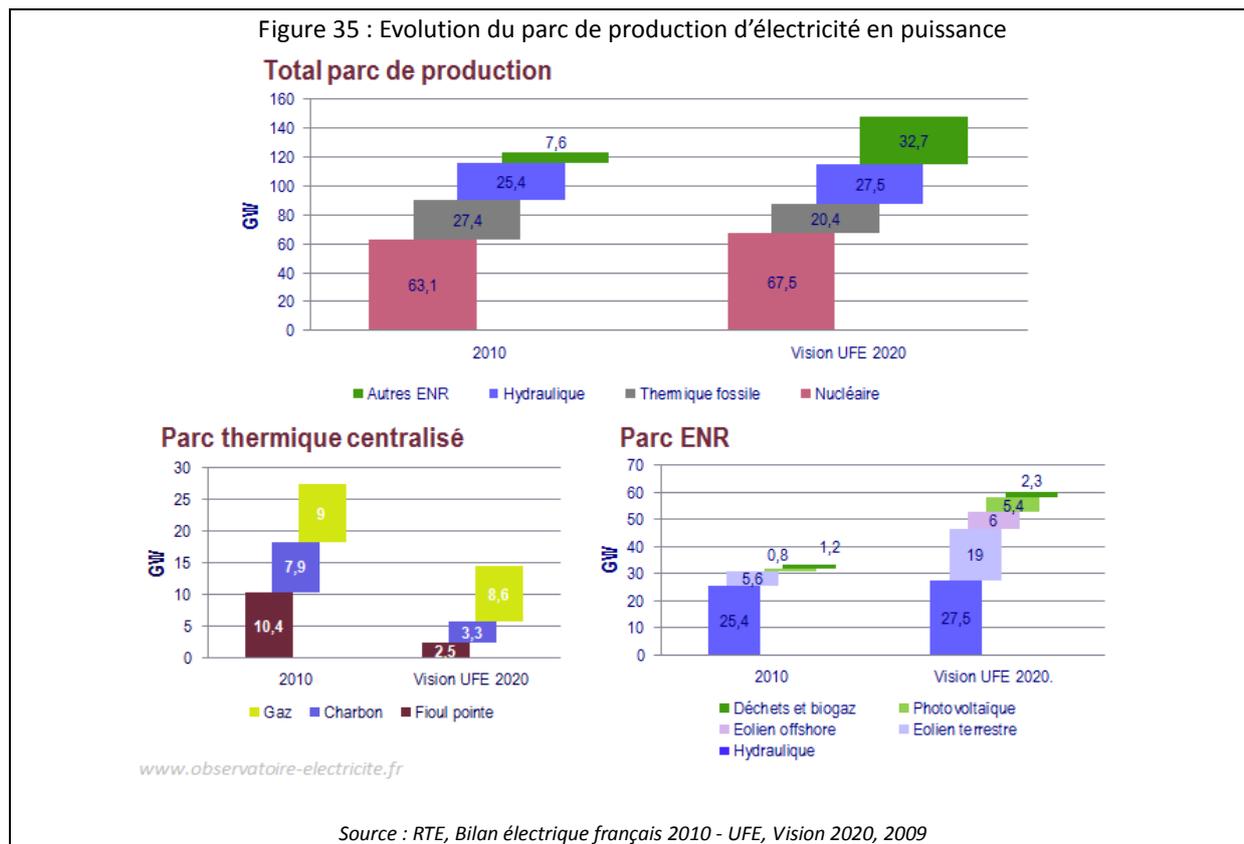
¹⁰⁹ Réseau de transport d'électricité : <http://www.rte-france.com/fr/>

¹¹⁰ Union Française de l'Electricité : <http://www.ufe-electricite.fr/>

¹¹¹ Défis climatiques nouveaux enjeux électriques, Synthèse des propositions de l'UFE pour mettre l'électricité au service de la croissance verte et de la réduction des émissions de CO₂, UFE, février 2009. Document téléchargeable à l'adresse suivante : http://www.ufe-electricite.fr/IMG/pdf/defis_vfrancaise_web-2-2.pdf

- à partir des années 80, une croissance forte de la production d'origine nucléaire (jusqu'à 78 % en 2005).
- Enfin, à la fin des années 2000, du fait d'une prise de conscience environnementale, un amorçage du développement des renouvelables (essentiellement l'éolien).

Il est à échéance 2020, la structure du parc électrique française ne changera pas. Le parc nucléaire construit entre 1971 et 1992 arrivera massivement à l'âge de 40 ans à partir de 2020. Il faudra soit prolonger la durée de vie des centrales de 40 à 60 ans, soit les remplacer par de nouveaux réacteurs ou d'autres moyens de production. Quels que soient les choix de modes de production, ces investissements interviendront dans la décennie entre 2020 et 2035.



Le parc de production en puissance installée représente l'ensemble des sources de production électrique raccordées au réseau. L'unité utilisée est la puissance nominale. Les données sont issues de RTE et de l'étude « Vision 2020 » de l'UFE.

La comparaison du parc de production électrique actuel et celui à l'horizon 2020 montre deux tendances:

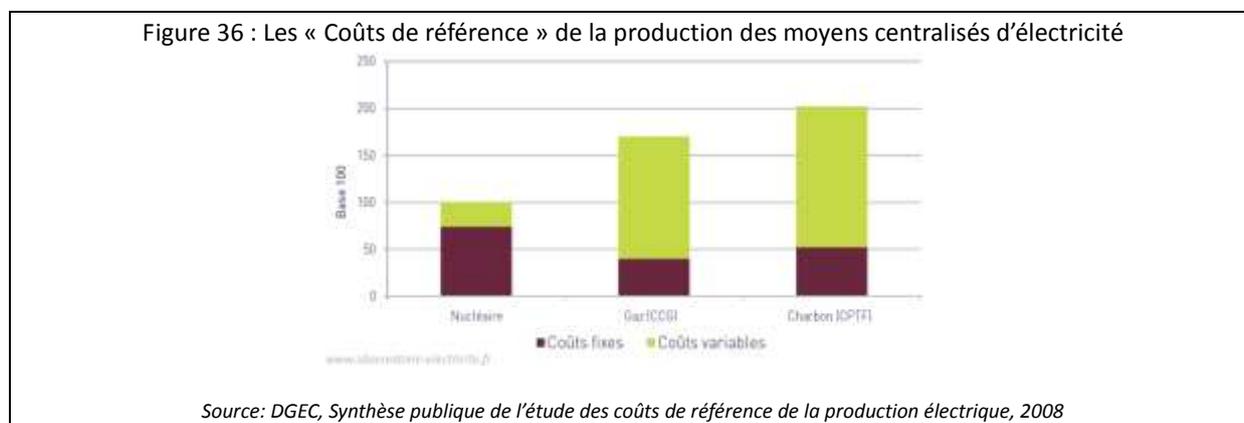
- une baisse en puissance relative de la capacité installée du parc thermique centralisé (de 22 % à 14 % du parc total),
- une augmentation du parc de production électrique renouvelable (de 27% à 41 %).

Les installations de cycles combinés au gaz (CCG) devraient partiellement compenser la fermeture de certaines centrales à charbon pour des raisons environnementales. La forte croissance des renouvelables devrait permettre d'atteindre les objectifs du « 3x20 » européen et du Grenelle. Le

parc nucléaire devrait, quant à lui, intégrer la puissance de deux EPR (Flamanville dont la construction est largement engagée et Penly dont l'engagement est encore faible).

❖ Les options d'évolution du parc de production

Les coûts de production représentent le coût financier par unité d'énergie produite. Ils sont issus de l'étude "Coûts de référence" de la DGEC publiée en 2008.



Le nucléaire, caractérisé par des coûts fixes importants et un coût de combustible faible par MWh produit, est presque deux fois plus compétitif que les autres moyens de production centralisée selon les hypothèses retenues. **Mais ces valeurs sont aujourd'hui obsolètes parce que les prix des combustibles fossiles ont augmenté et que les coûts du nucléaire sont à réévaluer en fonction des travaux d'augmentation de la sécurité des réacteurs** qui vont découler de l'accident de Fukushima de mars 2011.

Depuis le démarrage de cette industrie, les accidents nucléaires débouchent sur des améliorations technologiques. L'accident de Fukushima a révélé la fragilité non pas des réacteurs mais de l'ensemble des sites des centrales dans leur ensemble en cas de rupture de tout approvisionnement électrique. Un tel événement quelle qu'en soit la cause débouche sur une mise en danger des réacteurs, des piscines de stockage des combustibles.

Deux travaux ont été réalisés, générés par la catastrophe de Fukushima :

- une étude commandée par le Gouvernement à la Cour des comptes de réévaluation du coût du nucléaire,
- un chiffrage effectué par l'Autorité de Sûreté des investissements additionnels de mise en sécurité des réacteurs nucléaires pour parer à toute séquence accidentelle du type de celle de Fukushima ; les premières évaluations portent sur des investissements complémentaires à réaliser par réacteur compris entre 600 millions et un milliard d'euros (soit pour l'ensemble du parc autour de 45 milliards d'euros).

EDF estime l'augmentation future du kWh électrique à entre 35 et 40%.

L'évaluation du coût du kWh électrique est très complexe. D'une part, il faut tenir compte du coût complet c'est-à-dire : des conséquences écologiques en fonctionnement normal ou accidentel et de la gestion des déchets. D'autre part, ce coût dépend de la manière dont sont utilisés les moyens de production car dans le cas des énergies renouvelables comme dans celui du nucléaire, le coût de l'amortissement des moyens de production occupe une part prépondérante dans le coût du kWh. Il

est également nécessaire de tenir compte d'autres caractéristiques comme l'intermittence, la rapidité de mise en œuvre,... Ainsi même dans le cas du nucléaire, avec une technologie dite mature, la Cour des Comptes vient de consacrer plus de 300 pages à essayer de chiffrer le coût du kilowattheure nucléaire, et pourtant sa réponse est encore entachée de fortes interrogations. Dans le cas des énergies renouvelables, le coût du kilowattheure hydraulique est bien maîtrisé mais dépend fortement du patrimoine existant, celui de l'éolien est connu pour la partie terrestre mais ne l'est pas encore avec certitude pour l'éolien offshore, et en ce qui concerne le coût du kilowattheure photovoltaïque des évolutions technologiques font que ce coût est en forte décroissance et le point d'arrivée n'est pas encore connu.

Les coûts qui découlent du rapport de la Cour des comptes sont les suivants : de l'ordre de 50 €/MWh pour le parc PWR actuel, entre 75 et 90 €/MWh pour l'EPR. Il s'agit d'un coût pour les réacteurs existants, ayant donc été construits il y a plusieurs années. En effet, le mandat institutionnel de la Cour des comptes a été de reconstituer des coûts passés, et non de faire de la prospective. Il ne tient pas compte des améliorations à apporter suite à l'accident de Fukushima, ni des investissements à faire dans le cadre d'un allongement de durée de vie. Le coût estimé par le Ministère du développement durable pour un nouvel entrant qui voudrait acheter un réacteur aujourd'hui est de 119€/MWh.

Evolution de la consommation d'électricité

L'électricité étant une énergie qui ne se stocke pas, la production au plan européen équivaut à la consommation. La croissance mondiale de la consommation énergétique a été en 2011 par rapport à 2010 de 5,6%. Il s'agit de la plus forte hausse depuis 1973 !

Tableau 5 : Evolution de la consommation d'énergie primaire (2000-2010)

En millions de tonnes équivalent pétrole	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Amérique du Nord	2757	2689	2739	2762	2817	2835	2821	2870	2818	2684	2772
Amérique du sud et centrale	464	468	472	479	500	522	548	570	590	585	612
Union européenne	1720	1752	1740	1777	1806	1808	1814	1787	1784	1679	1733
Ex URSS	922	939	946	971	993	994	1018	1035	1044	972	1023
Moyen-Orient	416	440	460	482	515	553	579	601	645	665	701
Afrique	272	278	287	300	318	325	329	344	354	360	373
Asie-Pacifique	2651	2720	2834	3049	3350	3570	3783	3988	4092	4216	4574
Total	9382	9466	9652	9998	10482	10801	11088	11398	11536	11363	12002

Source : BP Review, 2010

On distingue clairement que globalement, la consommation globale d'énergie dans le monde ne marque pas de net fléchissement après la crise de 2008. Si la consommation d'énergie primaire de l'Amérique du Nord, de l'ex URSS et de l'Union européenne ne croît plus guère, la consommation mondiale est sans surprise tirée par la demande de la zone Asie-Pacifique. La croissance sur les onze années a été de 28%.

❖ A l'échelle mondiale

Les deux cartes suivantes montrent :

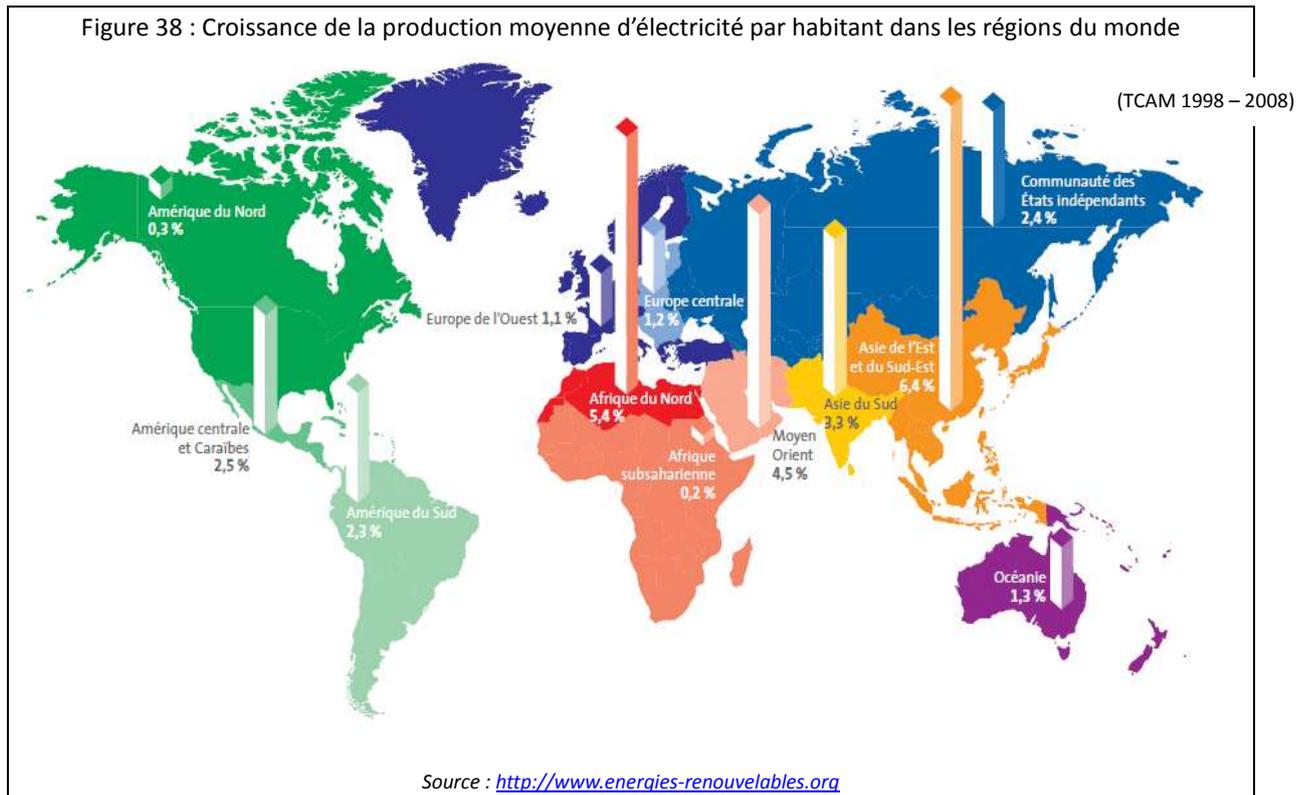
- La production d'électricité par habitant dans les régions du monde en 2008 : l'Amérique du Nord et l'Océanie sont largement en tête ;
- La croissance de la production moyenne d'électricité par habitant dans les régions du monde, où l'Asie et l'Afrique constituent les continents où la croissance a été la plus forte.

Figure 37 : Production d'électricité par habitant dans les régions du monde en 2008 (kWh/hab)



Source : <http://www.energies-renouvelables.org>

Figure 38 : Croissance de la production moyenne d'électricité par habitant dans les régions du monde

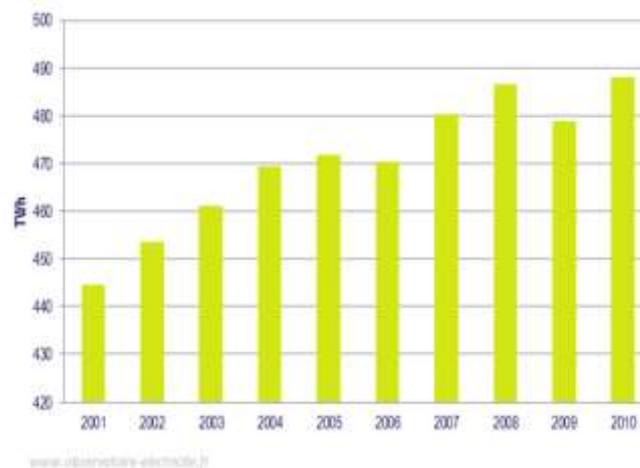


❖ En France

La consommation corrigée du climat correspond à la consommation finale d'électricité corrigée des variations de température et des particularités calendaires (années bissextiles). Ainsi corrigées, les consommations sont comparables d'une année sur l'autre car non dépendantes de l'aléa climatique.

Depuis 2001, la consommation corrigée du climat augmente continuellement en tendance : 10% sur une décennie. Après une baisse en 2009 liée à la crise économique, la consommation corrigée des aléas météorologiques a repris son cours.

Figure 39 : Evolution de la consommation d'électricité corrigée du climat

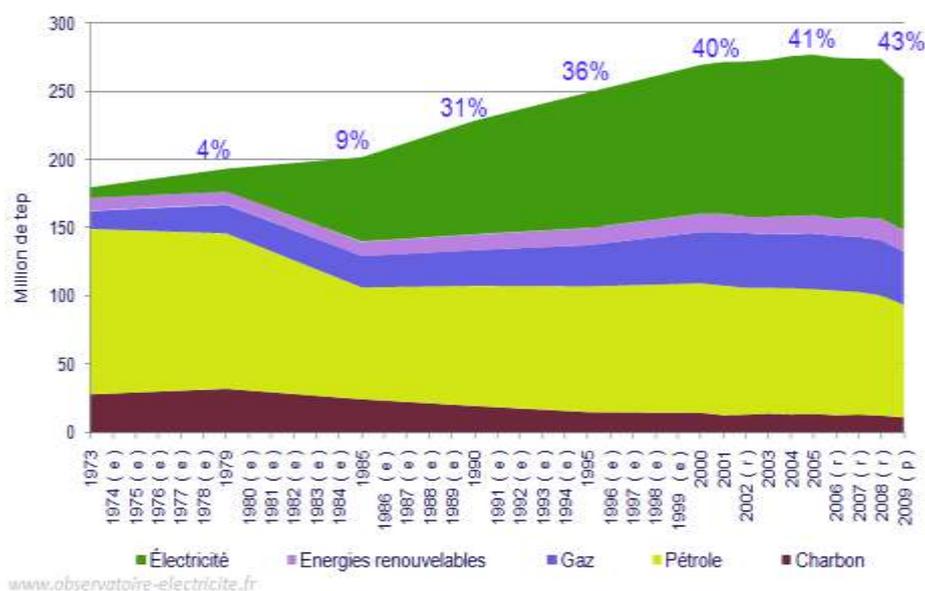


Source: RTE, Rapports statistiques de l'énergie électrique en France, 2010 - RTE, L'Énergie électrique en France, 2010

Part de l'électricité non-fossile dans la consommation totale d'énergie primaire

L'électricité exprimée en énergie primaire comprend le nucléaire et dans certaines sources statistiques l'hydraulique et les autres énergies renouvelables. Les combustibles fossiles alimentant les centrales à flamme sont comptés séparément.

Figure 40 : Répartition des différentes sources d'énergie dans la consommation totale d'énergie primaire en France



Source: Insee, 2010

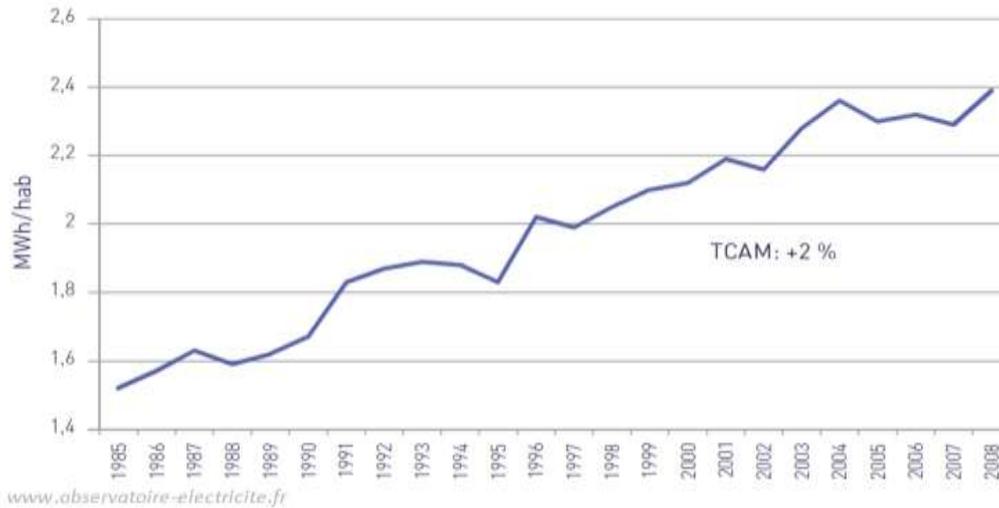
Remarque : les années suivies d'un (e) correspondent à une estimation entre des valeurs réalisées. Les années suivies d'un (r) correspondent à des données révisées. Les années suivies d'un (p) correspondent à des données prévisionnelles.

Ce graphique illustre une double tendance observée depuis les années 80 : une augmentation de la part du nucléaire et une baisse de celle du pétrole. La part de l'électricité produite à partir d'énergies non fossiles n'a cessé de croître : elle a été multipliée par 10 entre 1973 (4 %) et 2009 (43 %). Sur la même période, la part du gaz a été multipliée par 2 (de 7 à 15 %) tandis que celle du pétrole a été divisée par plus de 2 (de 68 % à 32 %). La part du charbon a été divisée par un facteur 4 (de 15 % à 4 %). Enfin, la part des énergies renouvelables (surtout représentées par la biomasse jusqu'à 2000) est restée stable (autour de 5 %) dans la consommation d'énergie primaire. En 2009, la crise a impacté la consommation globale d'énergie avec une baisse moyenne de 5%. Seule la consommation d'énergie renouvelable a augmenté de 4% par rapport à l'année 2008.

Consommation électrique domestique

La consommation domestique par habitant correspond au rapport entre la consommation domestique d'électricité, c'est-à-dire l'électricité livrée aux particuliers, et le nombre d'habitants en France. La consommation domestique n'est pas corrigée des aléas climatiques. La consommation domestique par habitant a sans cesse augmenté depuis 1985 avec une hausse moyenne de 1,91% par an. Cette hausse est notamment due à la multiplication des usages spécifiques de l'électricité, représentés par les TIC (bureautique, hi-fi, consoles de jeux, etc.).

Figure 41 : Evolution de la consommation électrique domestique par habitant

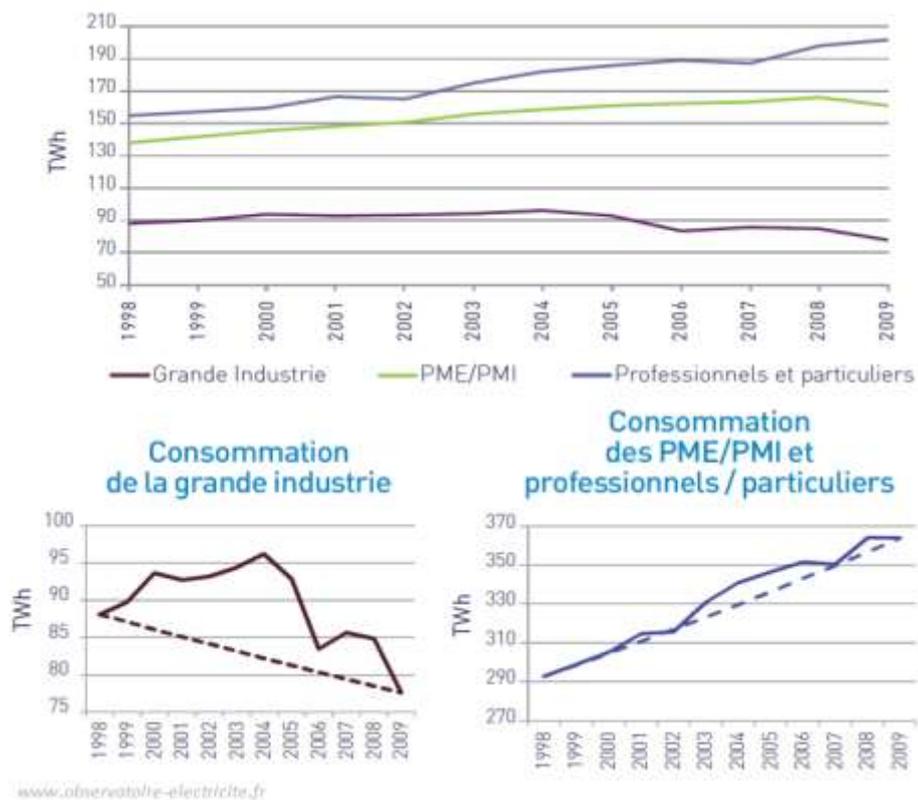


Source: Eurostat - Insee - RTE, 2008

Consommation par segment de client

Le graphique ci-dessous présente l'évolution de la consommation d'électricité finale par segment de client. La grande industrie correspond aux clients desservis par le réseau de transport à une tension comprise entre 400 kV et 50 kV (HTB, à l'exception de quelques clients desservis en HTA). Le segment PME/PMI correspond aux clients desservis par le réseau de distribution à une tension comprise entre 50 kV et 1 kV (HTA, à l'exception de quelques clients desservis en basse tension avec puissance souscrite supérieure à 36 kVA). Les professionnels et particuliers représentent les clients desservis par le réseau de distribution en basse tension avec une puissance souscrite inférieure ou égale à 36 kVA.

Figure 42 : Evolution des consommations par segment de client



Source: RTE, L'énergie électrique en France 2009, 2010

Depuis 10 ans, la consommation de la grande industrie diminue en moyenne, notamment grâce à des efforts en faveur d'une amélioration de l'efficacité énergétique. Celle des PME/PMI, professionnels et particuliers est en constante augmentation, en particulier du fait du développement des usages spécifiques.

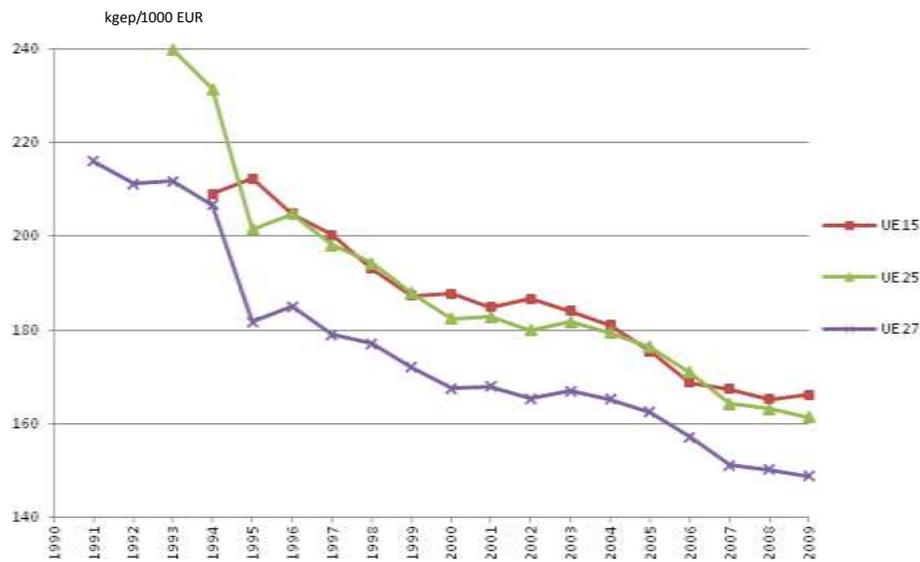
Evolution de l'intensité énergétique en Europe depuis 1990

❖ L'intensité énergétique

L'intensité énergétique de l'Union européenne a été améliorée de l'ordre d'un tiers depuis 1990.

L'intensité énergétique est calculée en divisant la consommation intérieure brute d'énergie par le PIB (à prix constants, 1995 = 100). Le ratio obtenu s'exprime en kgep (kg équivalent pétrole) par 1000 euros.

Figure 43 : Intensité énergétique en Europe

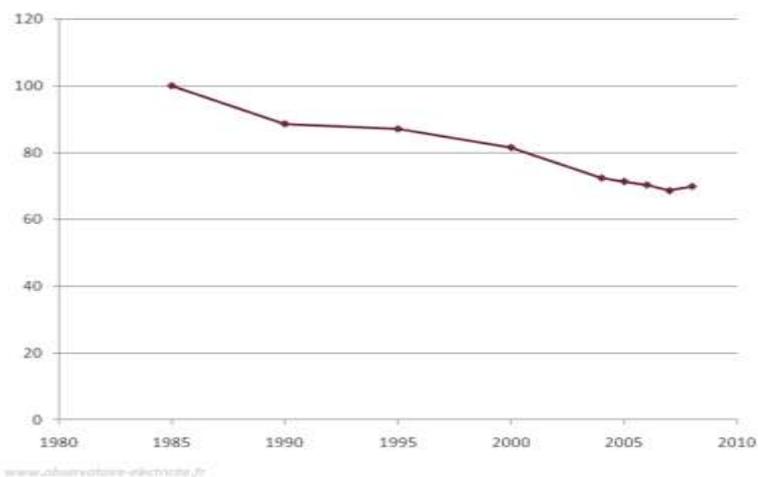


Source : Eurostat, 2010

❖ L'intensité électrique

L'intensité énergétique électrique traduit le contenu d'électricité nécessaire à la production d'une unité de PIB. L'intensité électrique est en constante baisse depuis 1985. Cette baisse s'explique en particulier dans les secteurs industriels par les efforts réalisés pour réduire la facture énergétique. La baisse moyenne annuelle depuis 1985 est de 1,9 %. En 2008, une légère hausse est constatée, due principalement à une contraction du PIB.

Figure 44 : Intensité électrique (base 100 en 1985)



Source: MEEDDM, Observatoire de l'Énergie - Insee, 2008

Sa baisse indique donc une augmentation de la performance énergétique. Elle indique aussi un changement structurel de l'industrie d'un pays (passage d'une économie industrielle à une économie reposant sur le tertiaire) avec délocalisation des industries les plus intensives en énergie.

La production d'électricité d'origine nucléaire

La production d'électricité nucléaire est globalement stable dans le monde. La seule zone qui présente de la croissance est la zone Asie-Pacifique.

Tableau 6 : Production d'électricité d'origine nucléaire (en millions de tonnes éq. pétrole) sur la période 2000-2010

En millions de tonnes équivalent pétrole	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Amérique du Nord	198	202	205	201	210	209	212	215	215	212	214
Amérique du sud et centrale	3	5	4	5	4	4	5	4	5	4	5
Union européenne	214	222	225	226	229	226	225	212	213	203	208
Ex URSS	49	51	53	56	56	56	58	60	60	59	59
Afrique	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Asie-Pacifique	113	115	118	105	119	125	129	123	120	128	132
Total	584	601	611	599	625	627	635	622	619	614	628

Source : BP Review, 2010

La consommation d'énergies renouvelables

❖ La production d'électricité d'origine hydraulique

L'équipement hydraulique de l'Union européenne et de l'Amérique du Nord est pour l'essentiel achevé. Sur la période la production d'électricité d'origine hydraulique a plus que doublé dans la zone Asie-Pacifique. Les potentiels les plus importants d'équipement se situent en Afrique centrale.

Tableau 7 : Production d'électricité d'origine hydraulique (en millions de tonnes éq. pétrole) sur la période 2000-2010

En millions de tonnes équivalent pétrole	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Amérique du Nord	151	131	145	144	144	150	153	146	152	152	150
Amérique du sud et centrale	125	117	123	128	133	141	148	152	154	158	157
Union européenne	82	86	72	71	73	70	70	70	73	74	83
Ex URSS	52	54	52	51	56	56	56	56	54	56	56
Moyen-Orient	2	2	3	3	4	4	5	5	3	2	3
Afrique	16	17	18	18	19	20	20	21	21	22	23
Asie-Pacifique	117	128	131	134	154	164	181	192	213	218	246
Total	599	585	596	596	633	659	684	697	725	736	776

Source : BP Review, 2010

❖ Les autres énergies renouvelables

Les consommations d'énergies renouvelables comptées dans le BP review ne comprennent pas les consommations de bois ne passant pas par les circuits commerciaux (bois de feu pour la cuisson et le chauffage).

Sous cette réserve, les consommations d'énergies renouvelables (éolien, géothermie, bois commercialisé, déchets, solaire) restent modestes. Elles ont triplé sur la décennie avec une croissance de 50% sur les 3 dernières années.

En millions de tonnes équivalent pétrole	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Amérique du Nord	21	20	22	23	24	25	27	29	34	39	44
Amérique du sud et centrale	4	5	5	5	6	6	6	8	9	9	11
Union européenne	14	16	20	23	29	34	40	47	54	59	67
Asie-Pacifique	11	12	12	13	15	16	18	20	23	27	33
Total	51	54	60	66	75	83	93	106	122	137	159

Source : BP Review, 2010

L'évolution future des tendances de consommation

Quatre déterminants sont à distinguer pour aborder l'évolution future de la demande d'énergie :

- les grands déterminants de la consommation qui découlent des tendances lourdes de l'économie : la démographie, la croissance économique et l'évolution du revenu des ménages ;
- la saturation qui touchera certains usages (notamment les usages thermiques de chauffage) notamment du fait de l'amélioration de la qualité de la construction ;
- à l'inverse, les usages en émergence : notamment ceux liés aux nouvelles technologies de communication ;
- les modifications des modes de vie et des comportements.

Ces éléments seront repris plus en détail dans la suite de l'étude.

❖ L'évolution prévisible de la demande mondiale de pétrole et de gaz notamment de la part des pays émergents

Les perspectives de croissance des pays émergents n'ont aucune raison de chuter dans les années qui viennent tant leur réserve de main d'œuvre à bas coût y restent très importantes (Chine, Inde et Afrique du Sud). Des croissances de 6 à 8 % sont les plus probables.

La Chine et la plupart des pays émergents se sont engagés lors de la conférence de Copenhague à augmenter de l'ordre de 20 à 30% leur intensité énergétique.

❖ La croissance dans les pays développés

Deux cas de figure sont à distinguer :

- les pays à croissance démographique faible ou nulle (Union européenne, Russie),
- les pays à croissance démographique encore régulière (Etats-Unis, Canada, Australie) avec une croissance annuelle supérieure ou égale à 1% par an.

Pour apprécier la croissance économique de ces pays il faut prendre en compte les gains de productivité par habitant, tels qu'on les constate à savoir 1,5% par an. A ceux-ci il faut ajouter la croissance démographique pour obtenir la croissance économique probable.

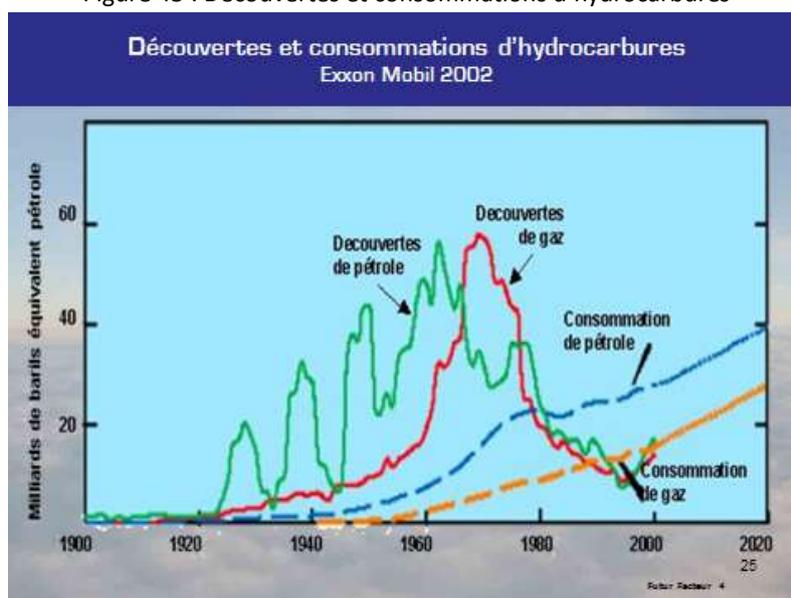
Les réserves de ressources d'hydrocarbures mondiales

Comme en témoigne la figure ci-dessous, **le volume des découvertes baisse inexorablement malgré les efforts d'exploration et de développement de gisements sans précédent.** Le maximum des découvertes de pétrole conventionnel date de 1964. La légère remontée récente des découvertes découle des capacités d'exploitation de gisements offshore profonds (jusqu'à 5000 m de profondeur d'eau).

Le raisonnement ne peut être appliqué de la même façon pour le gaz naturel dont les ressources ont été beaucoup moins prospectées que celles de pétrole. Les nouveaux gisements exploités s'adressent directement à la roche mère gisements dits « gaz de schistes » posent de réels problèmes environnementaux. Le développement de ce type de production, qui a fait ses preuves aux Etats-Unis (en matière de production et d'impact écologique avérés), pose des problèmes d'applications en Europe. En France, les demandes de permis, d'abord accordées, ont ensuite été gelées.

Globalement, qu'il s'agisse du pétrole ou du gaz, les éléments statistiques concernant les nouveaux gisements sont clairs. On ne découvre plus maintenant de gisements super-géants comme ceux du Moyen-Orient.

Figure 45 : Découvertes et consommations d'hydrocarbures



Source : Exxon Mobil, 2002

Le débat sur les ressources en hydrocarbures est aussi complexe que central. Il est difficile de s'y retrouver tant les avis d'experts divergent. Il est essentiel de poser clairement dès le départ les facteurs déterminants.

L'appréciation des ressources géologiques

Les points en débat sont :

- **La difficulté d'évaluer les gisements existants** à la fois au plan des structures géologiques et de la circulation du pétrole à l'intérieur de la roche (généralement du grès) ;
- **L'insuffisance de prospection** dans certaines zones de la planète qui comprennent des ressources sur lesquelles, il n'existe aucune estimation (par exemple sous l'arctique).

La quasi unique source d'inventaire géologique mondial est le **service géologique américain (USGS)** qui dépend du Ministère de l'intérieur (Dt. of Interior). Compte tenu du caractère politiquement stratégique de ces données, un doute existe concernant l'intégralité des informations qu'il diffuse. Les autres sources proviennent d'une part de **l'AIE (Agence Internationale de l'énergie)**, mais il s'agit de déclaration des Etats, tout aussi discutables. La source probablement la plus fiable émane de **l'ASPO (Association for Study of Peak Oil¹¹²)**, une association mondiale de géologues, souvent retraités des compagnies pétrolières, et de ce fait plus libres de leurs propos et consistance de leurs analyses.

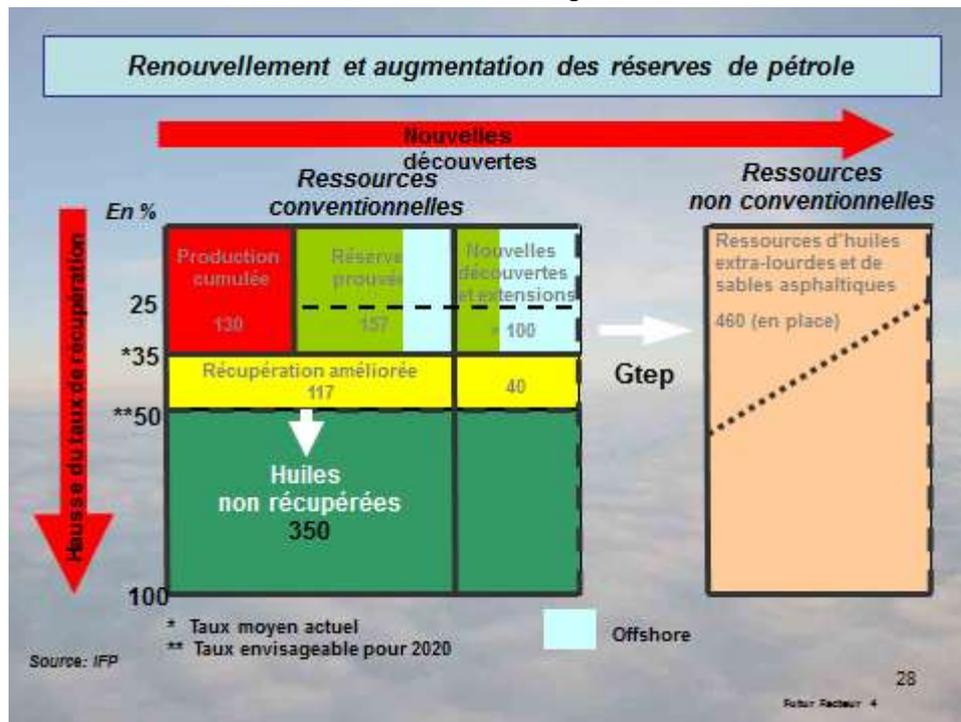
Les rendements possibles d'extraction

Jusqu'aux chocs pétroliers des années 70, les rendements moyens d'extraction étaient de l'ordre de 25%. Les efforts technologiques engagés depuis (forages horizontaux, injection de solvants et de lessives, injection sous pression de gaz carbonique et d'eau) ont permis de porter ce taux de récupération en moyenne à 35%. Cela a été l'équivalent d'une augmentation de 40% des ressources mondiales. C'est cela qui a permis la détente du marché pétrolier mondial dans les 15 années qui ont suivi. De nouveaux progrès technologiques sont encore possibles. Mais les experts là encore divergent. Certains tablent sur un taux de récupération possible de 50%, d'autres estiment que les progrès seront minimes. **Néanmoins, cette évolution technologique qui permet d'améliorer le taux de récupération connaîtra des limites, alors le tarissement des ressources ne pourra plus être compensé.**

Le graphique ci-dessous montre clairement que **les marges de manœuvre se situent davantage dans les progrès de récupération que dans la découverte de nouveaux gisements.** Seules des innovations technologiques permettront de déplacer le pic de 2010 à 2028.

¹¹² www.aspofrance.org

Figure 46 : Courbe de production des ressources pétrolières de la planète, considérant les réserves actuelles (en vert), les réserves découvertes mais pas encore en production et les réserves possibles en tenant compte de l'intervention de nouvelles technologies à coûts croissants



Source : IFP, 2006

❖ Les conditions d'accès aux ressources non conventionnelles

Des ressources non conventionnelles (pétroles lourds visqueux ou solides) existent mais sont encore mal connues. Ces pétroles posent trois types de problèmes : leur **accessibilité**, la **capacité de récupération** dans des couches profondes et le **coût de leur raffinage**. Il n'est donc possible ni de connaître le taux de récupération possible, ni leur coût global.

❖ Et évidemment, l'évolution future de la demande

En pratique, les ratios avancés contournent une appréciation nécessairement incertaine de la demande en se contentant de formuler un ratio réserves/consommation de l'année en cours.

Ce ratio s'établissait fin 2010 à 46,2 années de consommation.

❖ Des ressources limitées

Ce cadre théorique clairement posé, des difficultés d'appréciation subsistent :

- Les efforts de prospection ont été très inégalement réalisés selon les régions du monde (le sous-sol américain est de loin le mieux connu) ;
- Certains pays dont l'Arabie Saoudite n'autorise pas l'expertise de leur sous-sol par des experts étrangers ; un doute existe sur la validité de leurs réserves ;
- D'importantes incertitudes existent concernant certaines configurations géologiques qui peuvent receler d'importants gisements (océans au-delà du plateau continental, Arctique...) ;
- Il est surtout difficile d'estimer quelle partie du pétrole d'un gisement pourra être extraite ? en fonction du degré de fluidité d'écoulement de l'huile dans le gisement ;

- Cette incertitude est encore plus grande pour ce qui concerne les pétroles non conventionnels (non liquides).

Estimation des ressources disponibles

Ces estimations sont données systématiquement à partir de différentes sources : les statistiques de BP¹¹³, les données accessibles sur l' « american geological survey », celles de l'ASPO (Association for the Study of Peak Oil and Gas) ainsi que celles de l'Institut Français du Pétrole. Les réserves de pétrole conventionnel comprennent les ressources existantes ou ayant existé et les découvertes exploitées ou non et les évaluations de pétrole qui reste à découvrir.

Tableau 9 : Tableau récapitulatif des réserves de pétrole conventionnel, selon les principaux organismes

	Pétrole conv.	Pétrole non conv.	Total pétrole	GN conv.	GN non conv.	Total gaz	Charbon
	EJ	EJ	EJ	EJ	EJ	EJ	EJ
ASPO	10 643,84	-	10 643,84	-	-	-	-
USGS	17 260,27	-	17 260,27	-	-	-	-
BP	7 669,89	785,21	8 455,10	6 749,64	-	6 749,64	21 476,03
IFP	6 156,16	1 035,62	7 191,78	6 480,00	-	6 480,00	-
AIE	7 790,14	1 323,29	9 113,42	14 544,00	13 680,00	28 224,00	26 000,00
BGR	6 720,00	2 280,00	9 000,00	6 768,00	-	6 768,00	18 772,00
WEC	6 804,00	2 280,00	9 084,00	6 354,00	-	6 354,00	18 772,00

Les estimations varient du simple au double. Hormis l'AIE et l'USGS, on constate néanmoins une assez bonne consistance des données en provenance des institutions pétrolières, privées publiques ou ONG. Toutes montrent la limite des ressources et confirment la réalité de la problématique du « peak oil ».

L'une des explications résulte du fait que les compagnies pétrolières ne s'intéressent guère à rechercher une connaissance exhaustive des possibilités géologiques dès lors que leur portefeuille de ressources exploitables leur paraît suffisant pour leur exploitation future.

¹¹³ Anciennement nommée British Petroleum puis BPAmoco, BP est une compagnie britannique de recherche, d'extraction, de raffinage et de vente de pétrole fondée en 1909.

❖ **L'évolution de la répartition des ressources pétrolières prouvées selon le BP review¹¹⁴**

Tableau 10 : Evolution de la répartition des ressources pétrolières prouvées selon le BP review			
En milliards de barils	1990	2000	2010
Ensemble du monde	1003,2	1104,9	1383,2
Dont les pays de l'OCDE	115,4	93,3	91,4
Dont l'OPEP	763,4	849,7	1068,4
Dont les producteurs non OPEP	176,5	168,2	188,7
Dont l'Union européenne	8,1	8,8	6,3
Dont l'ex URSS	63,3	87,1	126,1

Source : BP Review, 2010

Ce tableau montre clairement l'effort de prospection effectué dans la décennie 2000. Il met également clairement en évidence que les accroissements de réserves prouvées se sont réalisées dans les pays de l'OPEP. Cette hausse peut être mise en doute ; elle provient d'une réestimation par le Venezuela de ses réserves dont la valeur déclarative a doublé.

❖ **L'évolution des réserves prouvées de gaz naturel selon le BP review**

Tableau 11 : L'évolution des réserves prouvées de gaz naturel selon le BP review			
En milliers de milliards de m ³	1990	2000	2010
Ensemble du monde	125,7	154,3	187,1
Dont les pays de l'OCDE	15,7	14,7	17,1
Dont pays non-OCDE	109,9	139,6	170,0
Dont pays du Moyen-Orient	38,0	59,1	75,8
Dont l'Union européenne	3,4	3,8	2,4
Dont l'ex URSS	49,3	50,8	58,5

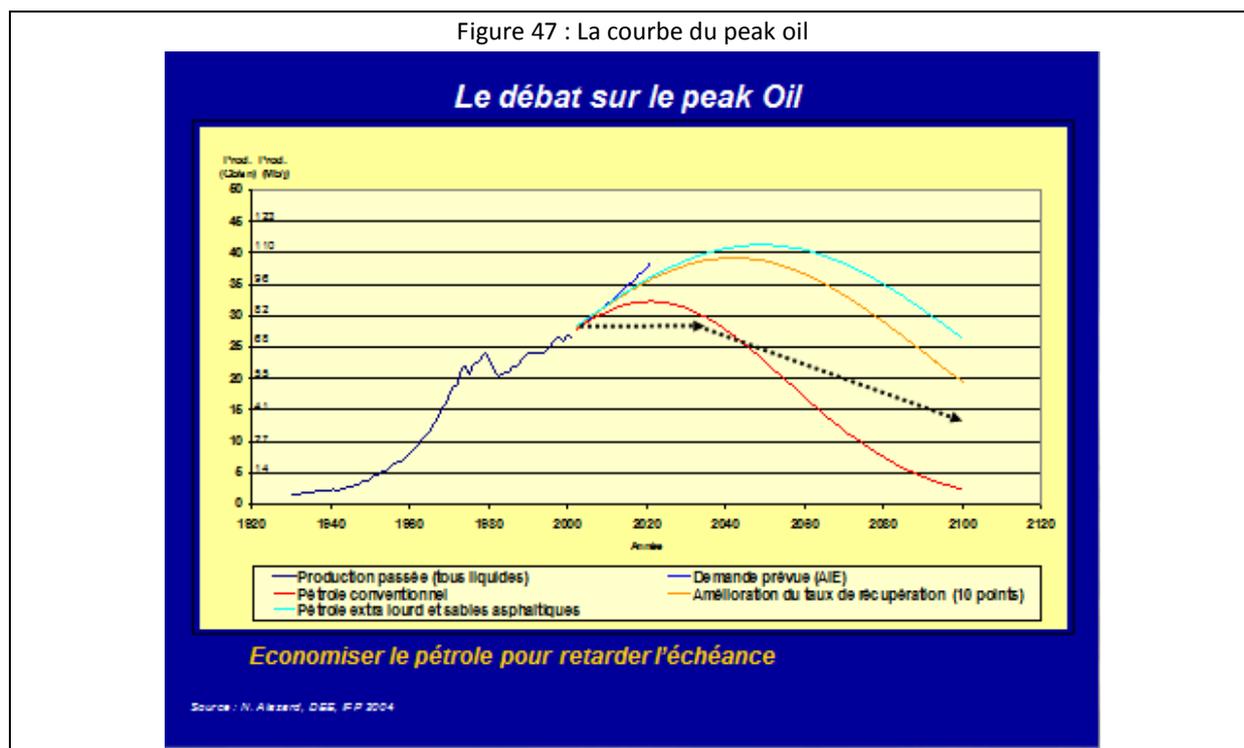
Source : BP Review, 2010

L'amplitude de l'augmentation des réserves est nettement plus importante en gaz qu'en pétrole puisqu'elle est de moitié. Cela n'a rien d'étonnant puisque dans le passé, on ne recherchait pas spécifiquement le gaz mais le pétrole et l'essentiel des gisements mis en exploitation concernait du gaz associé à du pétrole. Mais les caractéristiques géopolitiques sont les mêmes, avec dans ce cas, un doublement des ressources localisées dans le Moyen-Orient par rapport à 1990.

¹¹⁴ Statistical Review of World Energy 2010, BP, Juin 2010, consultable sur le site de BP : <http://www.bp.com>

De ce point de vue, dès 1956 le géologue pétrolier américain **King Hubbert** a démontré que, face à une exploitation en croissance exponentielle, la courbe de production d'un gisement prenait la forme d'une courbe « en cloche » avec un « pic » dont on pouvait prédire l'année de survenue. Ce qu'il fit avec succès dans le cas du pétrole extrait du sous-sol des Etats-Unis. Il en a déduit un déclin de l'exploitation pour 1970. C'est ce qui s'est exactement passé. Cette démarche a été ensuite extrapolée au monde entier. Mais les ressources mondiales sont bien moins connues que le sous-sol américain. D'où aussi des divergences de quantification.

Figure 47 : La courbe du peak oil



L'ASPO a été constituée par les géologues tenant des thèses de King Hubbert qui correspondent à une réalité physique incontestable.

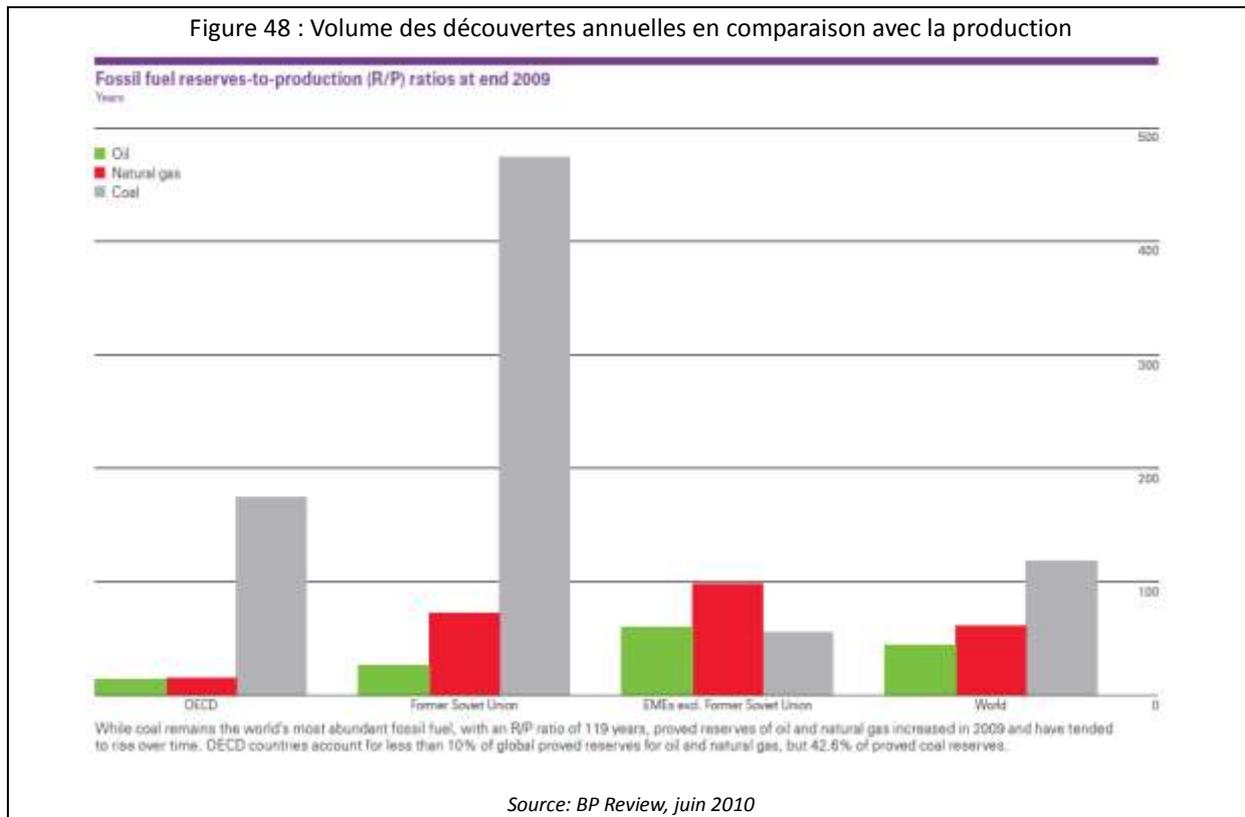
L'AIE – qui s'est longtemps tenue à des perspectives de croissance exponentielle de la production, sans limites, s'est depuis peu ralliée à la thèse du peak oil. Elle estime même aujourd'hui que le peak oil est effectivement atteint au plan mondial.

Maintenant, par sommation de l'ensemble des gisements connus ou possibles sur l'ensemble de la planète, on peut dessiner la courbe et préciser l'année du pic pour chacune de ces ressources. Bien entendu, la courbe varie selon les hypothèses retenues (Fig. 7 et 8). Dans chaque cas, **la « date du pic » est très contestée**, longtemps même niée par de nombreux opérateurs y compris par l'Agence Internationale de l'Energie. A l'exception de quelques agents peu crédibles, la date de 2010 est maintenant couramment admise.

La date du pic dépend non seulement de l'évaluation du volume des ressources, mais elle dépend également du taux de croissance de la consommation. Ainsi, alors que les réserves de charbon paraissent suffisantes jusqu'à l'horizon 2050 pour un taux de croissance de 2% par an, la totalité des ressources identifiées suffirait à peine pour un taux de croissance annuel de 10%.

Mais d'autres données viennent corréliser ces hypothèses, notamment celles qui donnent le volume des découvertes annuelles en comparaison avec la production.

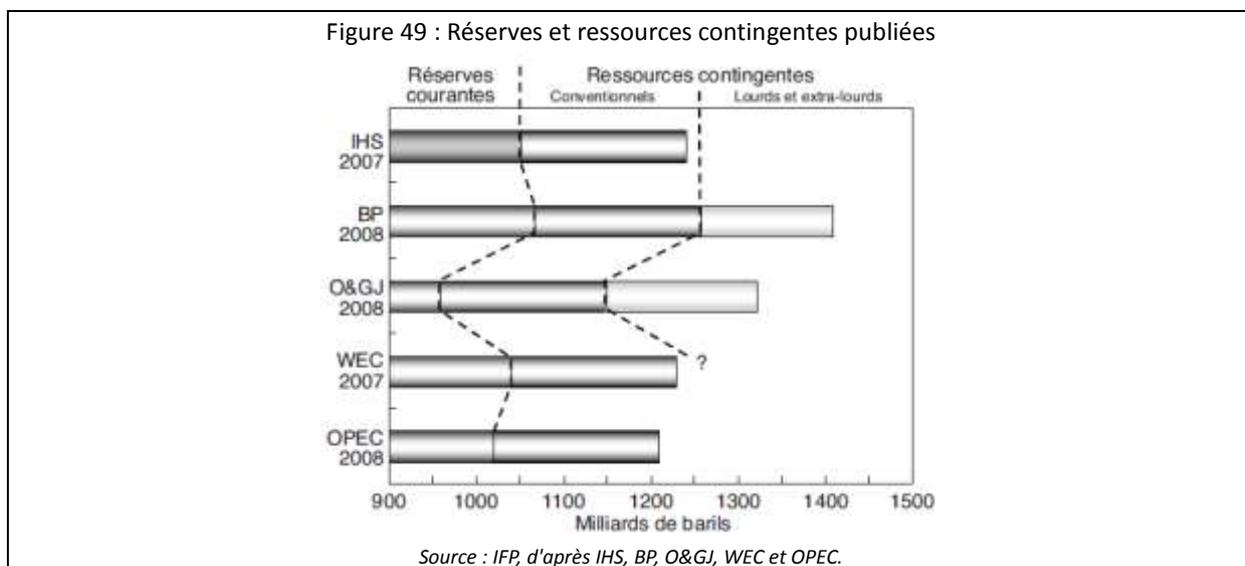
Figure 48 : Volume des découvertes annuelles en comparaison avec la production



Ce ratio concernant le pétrole est resté paradoxalement stable depuis les années soixante-dix malgré le fait que les découvertes de pétrole ont été faible et en déclin régulier. Cela découle du fait qu'elles ont été compensées par une forte amélioration depuis le premier choc pétrolier du taux de récupération du pétrole des gisements en exploitation comme expliqué plus haut.

Une grande part des divergences d'appréciation porte sur la prise en compte des pétroles non conventionnels. Si tous s'accordent à considérer ces ressources comme abondantes, un grand doute subsiste sur la part de celles-ci que l'on parviendra effectivement à exploiter.

Figure 49 : Réserves et ressources contingentes publiées



De nombreux désaccords existent donc actuellement entre les tenants du peak oil et ceux qui envisagent plutôt un « plateau » en accédant de façon importante aux ressources non conventionnelles. Le découpage des positions suivent très largement les catégories de métiers des experts.

- Les géologues libres de paroles alimentent pour l'essentiel les rangs des tenants du peak oil, car ils constatent que les gisements découverts sont de taille modeste et de conditions d'accès de plus en plus difficiles ;
- Les techniciens des compagnies d'exploration – également plus contraints dans leur expression – figurent davantage parmi les optimistes proclamant qu'il y a encore des marges de manœuvre en termes de progrès technologiques réalisés dans les domaines de l'exploration et de l'exploitation ;
- Le dernier mot revient probablement aux financiers qui n'envisagent d'investir que si le prix des hydrocarbures est élevé.

On en revient donc à cette composante fondamentale que **des prix élevés des hydrocarbures est indispensable à l'augmentation des capacités de production.** La question qui en découle est donc de savoir quel est le prix maximum supportable au-delà duquel la contrainte prix deviendrait tellement forte qu'elle déboucherait sur une contraction de la demande, une grande partie des consommateurs n'ayant plus les moyens de payer.

❖ **Les coûts d'accès aux ressources pétrolières (conventionnelles et non conventionnelles des sables bitumineux) et gazières (conventionnelles et gaz de schistes)**

Ce débat sur les ressources débouche sur des questions économiques. La confrontation à la raréfaction des ressources prend avant tout la forme d'une augmentation des prix.

C'est probablement auprès de l'IFP qu'il sera le plus facilement possible de récupérer des courbes de coûts correspondant aux conditions d'extraction et de traitement (raffinage en fonction de la nature du pétrole (conventionnel, lourd, non conventionnel)).

Le cas des gaz de schistes (voir plus bas)

Démarré aux Etats-Unis qui connaissaient dans les années 90 une grave crise gazière, la demande excédant largement l'offre, l'extraction des gaz de schistes a permis de rapidement renverser la tendance. Cette exploitation rapide a été possible du fait d'une spécificité américaine qui fait que le producteur du sol est aussi producteur du sous-sol.

Les compagnies gazières ont facilement convaincus des fermiers peu au fait des techniques et des risques encourus et par contre sensibles aux rémunérations supplémentaires.

L'utilisation d'une fragmentation hydraulique de la roche a souvent eu pour conséquence des fuites de gaz incontrôlées qui ont pollués les nappes phréatiques et ont pu remonter à la surface et induire des accidents.

Ces expériences malheureuses dues à l'utilisation d'une technique aux conséquences imprévisibles ont entraîné un arrêt de l'exploitation des gaz de schistes en France. Il faudra suivre si des techniques

plus propres pourraient être utilisées. Il est probable que l'exploitation d'huiles de schistes sous réserves d'un strict contrôle devrait avoir des effets négatifs moindres.

D'une façon générale trois incertitudes pèsent sur les ressources non conventionnelles :

- La part des ressources récupérables reste très incertaine (elle varie fortement d'un site à l'autre) ;
- Elles comportent de **graves impacts environnementaux** ;
- Les coûts sont en conséquence élevés dès lors que les conditions d'exploitation respectent l'environnement.

Quelles trajectoires possibles au-delà du peak oil ?

Une validation théorique de principe du peak oil ne suffit pas, il faut analyser en détail l'effet que l'annonce elle-même du peak oil aura sur les acteurs et les marchés. Quatre scénarios peuvent être dessinés :

❖ Un répit par relance de l'offre

Dans ce cas, il s'agirait d'une forte relance de la production pétrolière alimentée par une certitude de rentabilité des actions du fait du niveau élevé des prix. Cette réponse par l'offre non réellement accompagnée d'actions d'efficacité énergétique pourrait pendant un certain temps maintenir un équilibre offre-demande. Mais rapidement, la demande mondiale ne pourra plus être satisfaite par l'offre ; il s'ensuivrait une chute de la demande dans un contexte de crise économique et surtout sociale, à savoir que le prix des carburants serait tel que les populations modestes des pays développés et surtout des pays en développement ne pourraient plus guère y avoir accès.

❖ Une évolution en « plateau », plus ou moins en « tôle ondulée » en fonction de l'intensification des actions au niveau de la demande de pétrole en réaction au niveau élevé des prix

Un autre scénario associerait à une relance de l'offre un mouvement massif de diversification énergétique non seulement dans les applications thermiques mais aussi dans les transports routiers associé à un vaste effort en direction de la sobriété et de l'efficacité énergétique. Il pourrait en résulter un plateau assez prolongé où un équilibre offre-demande pourrait être maintenu.

❖ Une forte hausse des prix et une crise énergétique faute d'avoir déclenché suffisamment tôt les adaptations nécessaires au niveau de l'offre comme de la demande

Il y a bien sûr un 3^{ème} scénario qui consiste en une tension vite croissante entre une demande toujours vive faute de progrès en termes d'efficacité énergétique et de diversifications suffisantes et une offre pétrolière qui ne parvient pas à suivre. Il en résulterait une forte hausse des prix, au-delà des niveaux actuels, qui conduirait à une aggravation des disparités économiques et sociales entre ceux qui peuvent payer des prix élevés et ceux qui ne le peuvent pas.

❖ Une attitude éthique ?

Enfin, une attitude responsable ne consisterait-elle pas à considérer que cette ressource désormais rare, devrait voir son usage réduit aux applications non énergétiques (chimie, médicaments, plastiques...), en préservant les dernières ressources encore accessibles pour les générations futures ?

Le cas des gaz de schiste¹¹⁵

❖ Les formations géologiques visées : les roches mères, et le mode de production utilisé

Les gisements de pétrole et de gaz conventionnels résultent de la migration vers le haut, des fluides hydrocarbonés (plus légers), au sein de formations géologique perméables, à partir de la couche géologique d'origine, au sein de laquelle ils ont pris naissance, dite « roche mère ». Lorsqu'ils ne sont pas dissipés vers la surface et dans l'atmosphère, ils peuvent être « piégés » dans des formations réservoirs (roches poreuses et perméables, généralement des calcaires, des sables ou des conglomérats) où ils s'accumulent sous couverture imperméable pour constituer des gisements (Fig.7).

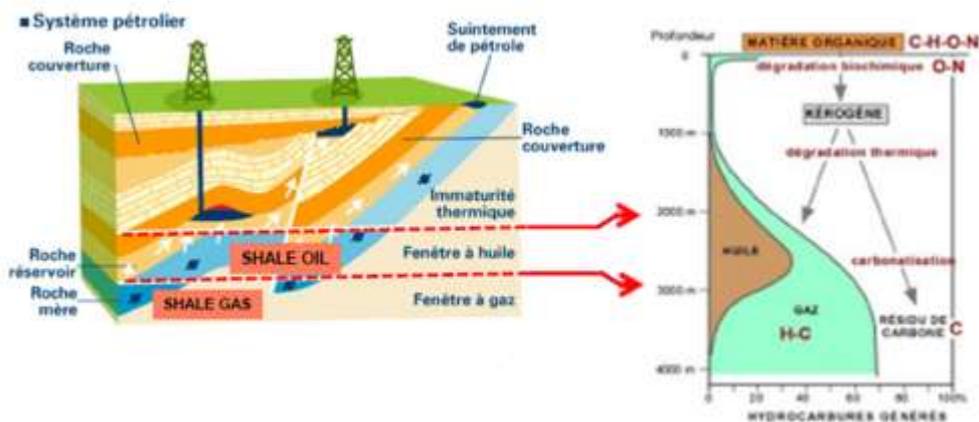


Fig.7 : Les hydrocarbures proviennent de la dégradation thermique du kérogène, macromolécule carbonée issue de formations riches en matière organique (roches mères), puis migrent au sein d'une roche réservoir et s'échappent vers la surface ou s'accumulent éventuellement dans des pièges (anticlinaux ou discordances) sous couverture imperméable constituant les gisements conventionnels exploités. De 10 à 40% des hydrocarbures générés peuvent cependant rester disséminés dans la roche mère.

Les hydrocarbures résultent ainsi de la transformation en profondeur des sédiments riches en matière organique (de la [biomasse](#) issue de la photosynthèse) formés en général en mer, mais provenant de l'érosion de continent, et déposés d'abord sur les deltas, puis dispersée sur le plateau continental et au pied du talus sur le glacis continental. A la biomasse continentale s'ajoute une charge dite allochimique provenant du bassin même (couche de plancton). On parle de « roche mère » lorsque ces sédiments contiennent une certaine quantité (de 5 à 20% du volume du sédiment.) de matière organique.

¹¹⁵ Voir article en ligne sur l'Encyclopédie du développement durable, dans le dossier dédié à l'étude : http://encyclopedie-dd.org/encyclopedie/terre/les-gaz-de-schistes-ou.html#3_les_formations_geologiques_visees_les_roches_meres_et_le_mode_de_production_utilise

Composée de carbone, hydrogène, oxygène et azote (CHON) elle est, dans ce milieu confiné, protégée de l'oxydation, transformée en des édifices macromoléculaires appelés kérogène. Le kérogène subit ensuite sous l'effet de l'enfouissement - car la température augmente avec la profondeur du fait du gradient géothermique - une dégradation thermique. Celle-ci libère des chaînes ou cycles hydrocarbonés existant dans le kérogène qu'on appelle hydrocarbures (HC). Dans un premier temps, pour un enfouissement de 1000 à 2000 mètres (à partir de 80°C) c'est du liquide qui sera généré (huile, c'est-à-dire du pétrole) ; ensuite, au-delà de 3000 mètres (vers 150°C), c'est du gaz (principalement du méthane, CH₄) qui est formé. A plus de 4000 mètres, tout est cuit : huile et gaz sont détruits.

On parle ainsi (voir Fig.7) de "fenêtre à l'huile" (fourchette de profondeurs où se forme l'huile) et de "fenêtre à gaz" (là où se forme le gaz).

Exploiter les gaz (ou l'huile) de roche mère consiste donc à forer la couche située sous les réservoirs conventionnels, généralement une argile noire indurée. Il s'agit d'une roche par nature imperméable, et il ne sera possible de la faire produire qu'en la fracturant, ce qui se pratique à partir de forages horizontaux (pour maximiser la surface d'accès à la roche), par injection de fluides chargés en adjuvants pour faciliter leur pénétration et leur circulation et en agents de soutènement (sables, billes de verre ou de céramique) (Fig. 8).

Ce mode opératoire entraîne un certain nombre de problèmes environnementaux, parmi lesquels les plus saillants sont les suivants :

- La nature des divers agents chimiques, pas tous inoffensifs pour l'environnement ou la santé humaine. Le Tableau.1 établi par le parlement européen, liste à titre indicatif quelques-uns de ces adjuvants toxiques parmi les 650 produits chimiques entrant dans la composition de 980 produits commerciaux utilisés aux Etats-Unis [4].
- La fracturation nécessite l'injection d'une grande quantité d'eau (de 10.000 à 15.000 m³ par puits ; 90% pour la fracturation, 10% pour le forage) ; celle-ci peut néanmoins être partiellement (de 20 à 70%) récupérée lors des phases de production et recyclée dans le processus.

L'augmentation de la pression dans la couche peut entraîner des fuites de fluides, et notamment de méthane, vers la surface, notamment à la faveur de puits mal cimentés ou détériorés (cas d'anciens champs pétroliers).

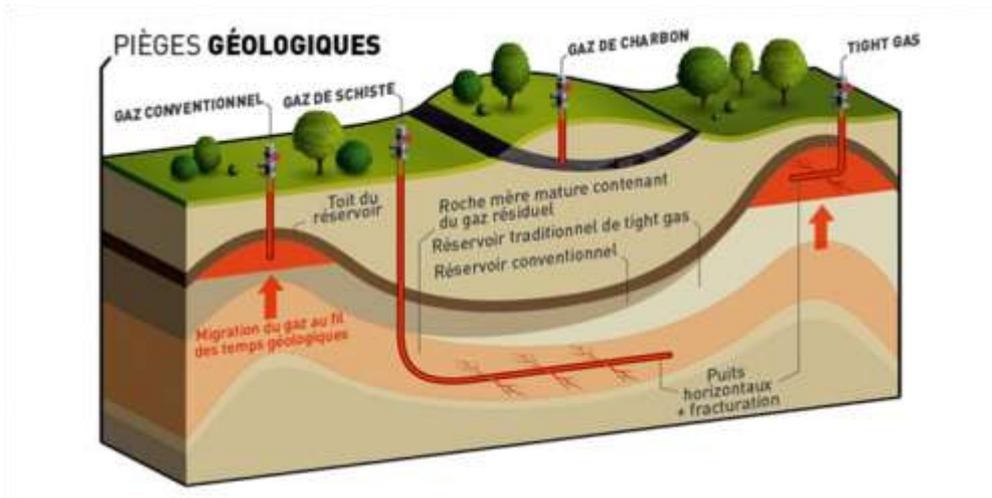


Fig.8 : La technique des forages horizontaux avec fracturation hydraulique utilisée pour l'exploitation des gaz de roches mères, à la différence des modes de production pour les gisements conventionnels (Source TOTAL).

Ainsi, les roches mères ne peuvent être mises en production que sous l'effet de moyens de stimulation, et l'absence de perméabilité naturelle imposera de réitérer ces interventions pour entretenir une production naturellement très rapidement déclinante. Nous reviendrons sur ce point essentiel pour l'économie de la filière, car si les gisements des réservoirs conventionnels sont naturellement productifs sur des durées de plusieurs dizaines d'années, les effets des stimulations sur des roches imperméables ne seront que de courte durée : quelques mois, voire quelques années tout au plus. Compte tenu du manque de recul dans l'exploitation des gisements de roches mères, c'est en conséquence seulement par une course en avant par de nouveaux forages que la production peut être maintenue, voire augmentée (Fig.9).

Tableau 1 : Sélection de substances utilisées comme additifs chimiques dans les fluides de fracturation en Basse-Saxe, Allemagne

N° CAS	Substance	Formule	Effets sur la santé	Classification SGH
111-76-2	2-butoxy-éthanol	$C_6H_{14}O_2$	toxique	GHS07
26172-55-4	5-chloro-2-méthyl-2H-isothiazole-3-un	C_4H_4ClNOS	toxique	SGH05 SGH08 SGH09
2682-20-4	2-méthylisothiazol-3(2H)-un	C_4H_5NOS	toxique	SGH05 SGH08 SGH09
9016-45-9	Éthoxylate nonylphénol	de $C_mH_{2m+1}-C_6H_4OH(CH_2CH_2O)_n$	toxique	SGH05 SGH07 SGH09
75-57-0	chlorure de tétraméthylammonium	$C_4H_{12}ClN$	toxique	SGH06 SGH07

Source: SGH: Système général harmonisé (SGH)

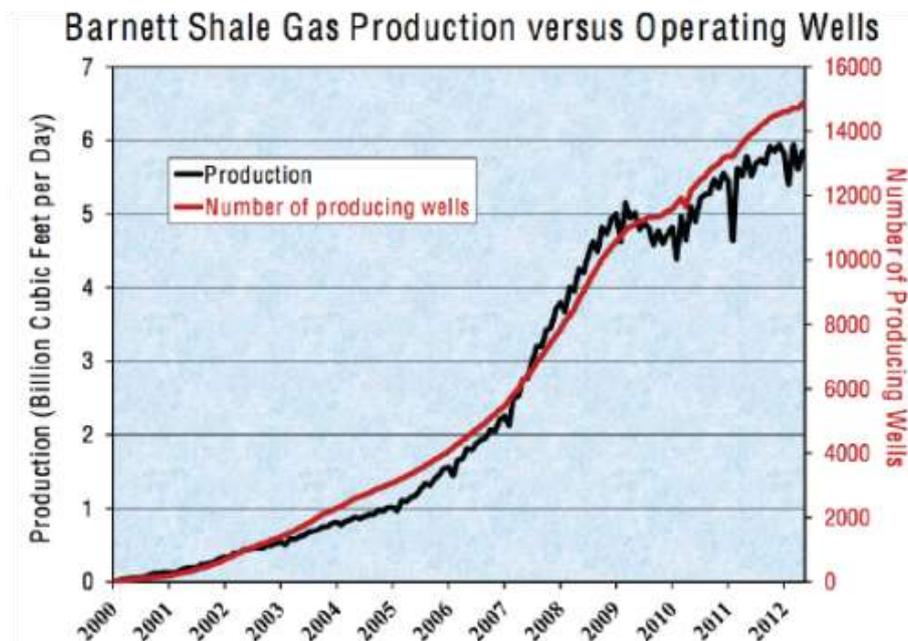


Fig.9 : Relation entre la production de gaz (en noir) et le nombre de puits forés (en rouge) sur le gisement de Bakken (frontière Canada-USA) entre 2000 et 2012. On voit que la production est directement liée au nombre de puits forés, et que la productivité des puits décroît à partir de 2008. < br>

En France, plusieurs couches géologiques constituent potentiellement des roches mères. Il s'agit des formations suivantes :

- Les argiles noires du Toarcien, un étage du jurassique (180Ma), et les terres noires du SE, en bleu foncé sur la carte (Fig.10) et le log géologique ci-dessous (Fig.11).
- Les argiles noires intercalées dans les argiles rouges de l'Autunien, un étage du Permien (280 Ma, à la base du Trias, en violet sur la carte et le log)
- Les couches carbonifères du Stéphaniens (s'apparentant au gaz de houille) en gris.

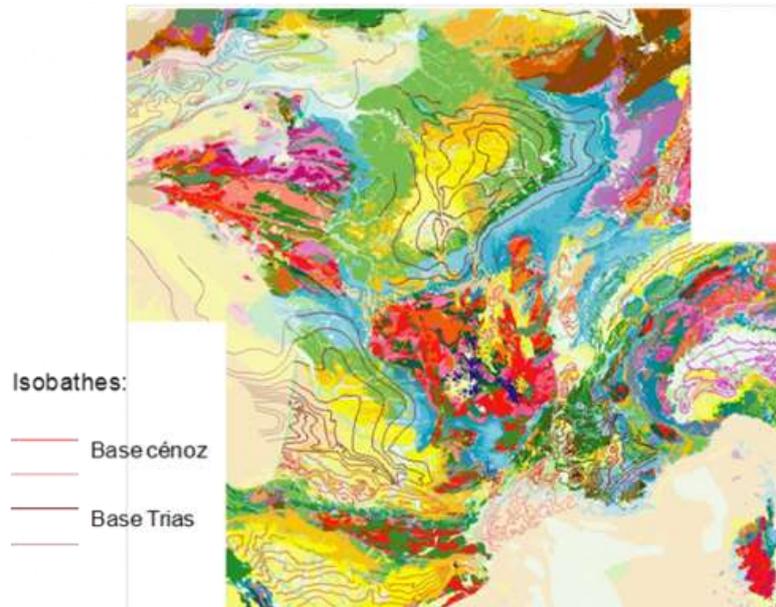
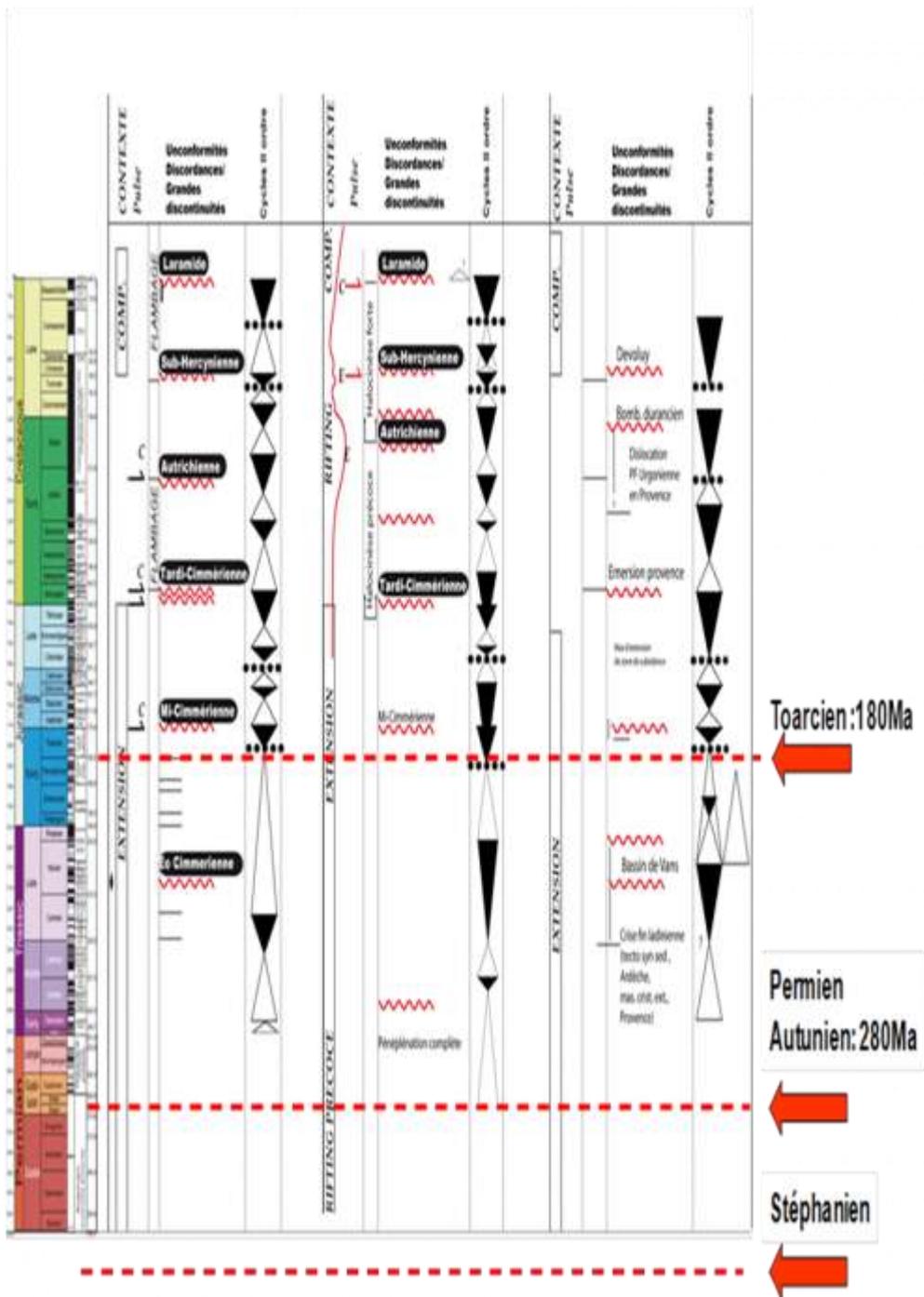


Fig.10 et 11 : Carte géologique de la France indiquant notamment les formations sédimentaires au sein desquelles des roches-mères peuvent constituer des objectifs pour la production de gaz. Les isobathes du Cénozoïque et du Trias sont également indiquées. Les étages géologiques correspondants aux grands bassins sédimentaires français sont indiqués, avec les 3 couches prometteuses marquées d'une flèche rouge.



❖ **Le contraste législatif US et français : Permis de recherche / Permis d'exploitation**

Il existe d'énormes différences entre les Etats-Unis et la France concernant ces questions. D'une part, les ressources naturelles américaines en énergies fossiles – pétrole, gaz et charbon, sont importantes, et le développement de leur exploitation très directement liée à l'histoire et au développement encore actuel du pays. En outre, le droit minier y est très différent du droit romain prévalant en France [5] selon lequel l'Etat est propriétaire des ressources minières du sous-sol dont il concède

l'exploitation aux opérateurs. Aux Etats-Unis, le propriétaire du sol est également propriétaire du sous-sol jusqu'au tréfonds et il existe des régions entières où depuis plusieurs générations, on exploite et transmet des champs, non pas agricoles, mais de pétrole ou de gaz. Cette situation entraîne la juxtaposition sur le même site de puits très anciens, abandonnés voire oubliés, avec des expérimentations plus récentes visant à prolonger des exploitations déclinantes ou à renouveler par de nouvelles approches des gisements épuisés. On dispose en permanence de machines de forages en grand nombre sur le territoire américain. Il préexiste en outre un réseau de pipes pour assurer le transport du gaz à partir des gisements. C'est ainsi que « tout est essayé » pour maintenir ou renouveler une production, malgré les risques jugés éventuellement limités au regard de l'état quelquefois déjà bien délabré de l'environnement. C'est aussi la raison pour laquelle l'innovation reste de mise et peut aboutir à des reprises de production, comme c'est le cas actuellement pour les gaz de schistes, qui ont permis en quelques années aux Etats-Unis de regagner leur autosuffisance alors qu'ils étaient devenus lourdement importateurs.

En France, la situation est bien différente. Les ressources concessibles du sous-sol étant la propriété de l'Etat, celui-ci est garant de la qualité des concessions qu'il alloue aux exploitants. On distingue strictement les permis d'exploration (dits PER : permis exclusifs de recherche) des permis d'exploitation, qui sont alloués après des procédures d'instruction très lourdes assurées par le Conseil Général des Mines. Le PER ne donne pas droit à exploiter ; il assure la protection du droit du découvreur, lui garantissant qu'aucun autres exploitant ne pourra bénéficier de sa découverte sans son accord. En France, les données d'exploration sont gérées par le BRGM pour le compte de l'Etat, et mises à disposition du public à l'issue de la phase active du permis. Il faut avoir conscience que c'est la source essentielle de la connaissance publique du sous-sol de la France. Ainsi, la géothermie n'aurait pu se développer sans les connaissances acquises par l'exploration minière, pétrolière et gazière antérieure, qu'il a fallu retraiter. D'importantes bases de données sont ainsi disponibles sur le sous-sol de la France grâce aux travaux d'exploration éventuellement infructueux. Le permis d'exploitation n'est délivré qu'au vu des garanties techniques, financières et environnementales apportées par l'exploitant. Et les travaux eux-mêmes ne peuvent être engagés sans une nouvelle procédure d'instruction, également très lourde.

Néanmoins, le code minier, s'il garantit une certaine qualité dans la connaissance et l'exploitation du sous-sol de la France - pour peu que les dossiers soient correctement instruits, ce qui est rendu de plus en plus aléatoire avec la réduction du périmètre de l'Etat – est aujourd'hui inadapté à la décentralisation et au concept de subsidiarité prévalant partout en Europe. Ainsi est-il devenu intolérable pour un maire, ou un président de conseil régional de découvrir qu'un permis a été alloué sur son territoire sans qu'il ait été consulté ou même informé. De même, les propriétaires des terrains affectés par une exploitation – qu'ils soient privés ou publics - ne conçoivent plus que l'exploitation ou même l'exploration puisse se faire sans un minimum d'information préalable, de garanties environnementales, puis de retombées économiques locales. Une révision du code minier a été engagée à cet effet.

❖ **Les risques de l'exploitation : connaissance et information publique, sélectivité et recherche & développement nécessaires**

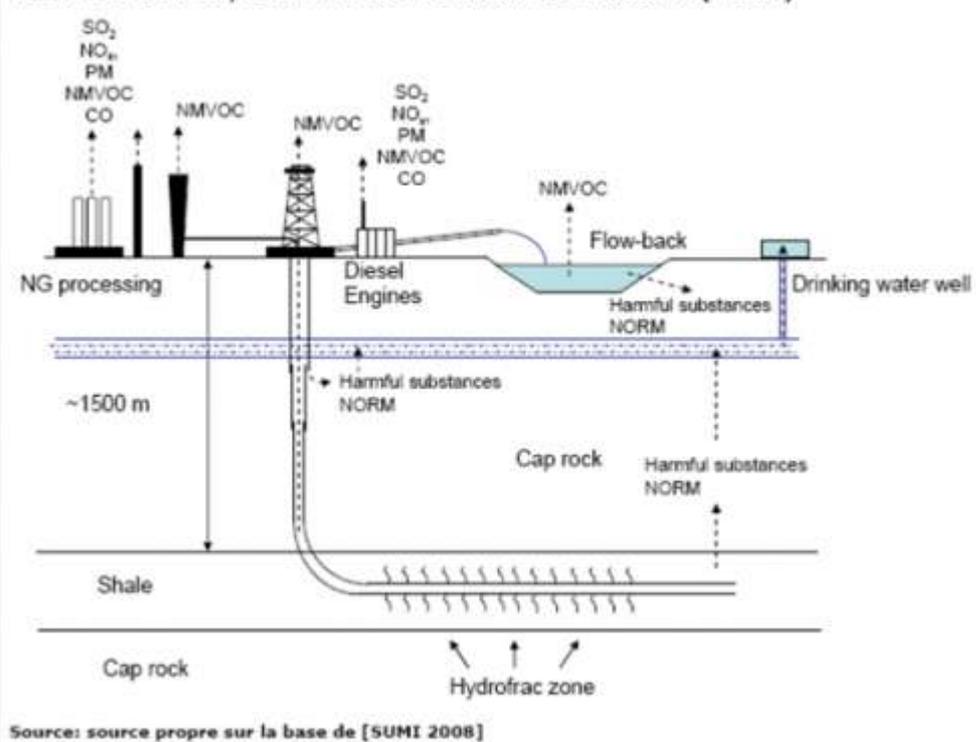
Dans le cas présent, la manière dont les PER ont été alloués – sans références aux expertises disponibles dans la sphère publique [6] ni consultation préalable des collectivités concernées alors que le « Grenelle de l'Environnement » battait son plein – a entraîné une défiance généralisée à

l'égard des « gaz de schistes ». Aucune information préalable n'a été recherchée par les décideurs et la connaissance même des « roches mères » - pourtant disponibles en banques de données du fait des travaux antérieurs - n'ont pas été sollicitées. Il était – et il reste pourtant possible de traiter spécifiquement des données géologiques, géophysiques et de forages antérieurs pour tenter de préciser l'extension et la qualité des gisements. Des échantillons disponibles en lithothèques auraient pu être analysés pour mieux assurer une évaluation de l'économie des projets, une meilleure instruction des dossiers, et une information des publics concernés : élus, associations, entreprises, citoyens.

De même, au lieu de transférer à l'aveugle des technologies américaines, qui tiennent plus au départ plus du bricolage que de la science, aurait-il été raisonnable – en France et en Europe - d'assurer quelques travaux de R & D concernant les technologies de fracturation, aujourd'hui justement critiquées. En effet, la fracturation hydraulique a le défaut de laisser filer le fluide d'injection dans la roche mère selon les lignes de plus faible résistance, vers les couches les plus perméables, notamment les aquifères voisins. Lorsqu'il s'agit de formations salines profondes, comme c'est le cas du Dogger ou du Trias du bassin de Paris, elles même protégées par un empilement de couches imperméables et d'autres aquifères, les fuites de l'exploitation peuvent ne pas entraîner d'impact environnemental grave. Par contre, lorsque les mêmes couches sont affectées par des failles ayant un rôle hydraulique de drain [7], et mises en contact direct avec le système hydrogéologique de surface, comme c'est le cas dans les Causses et la bordure cévenole, les risques environnementaux sont effectivement très élevés.

En dehors des risques géologiques, il faut aussi tenir compte des risques découlant de toute installation industrielle (Fig.12). Et plus particulièrement – en l'occurrence – de ceux résultant des anciennes installations ayant pu exister dans la zone concernée. Comme les roches mères sont souvent situées en dessous de formations réservoirs historiquement exploitées, il est essentiel de disposer d'une bonne cartographie, et d'une connaissance actualisée de l'état des forages anciens, qui peuvent constituer – par la rouille des tubages et la dégradation des cimentations - autant de causes de fuites vers la surface ou vers les formations aquifères utilisées en consommation humaine.

Fig. 12 : Flux potentiels de polluants atmosphériques, de substances nocives dans l'eau et le sol, et de matières radioactives naturelles (NORM)



Répartition géographique des ressources pétrolières

Dans ce domaine comme dans les autres, il faut aussi **tenir compte de la distribution géographique mondiale des ressources**. On constate que l'Europe est la plus démunie, et donc la plus dépendante d'importations, notamment du Moyen-Orient et de la CEI.

❖ Le pétrole

L'Asie du Sud et du Sud-Est, la zone Pacifique et l'Australie comptent parmi les pays les moins dotés en ressources pétrolières mais qui connaissent la demande la plus forte du fait de leur croissance économique et démographique.

Figure 50 : Répartition géographique des ressources en pétrole



Source: BP Review, 2010

❖ Le gaz naturel

Les Amériques (et particulièrement l'Amérique latine) sont pauvres en gaz naturel et ne sont pas non plus raccordés aux ressources par gazoducs. Un approvisionnement par méthanier des Amériques signifie des coûts élevés ainsi que des risques (stockage, transport bateau, pollution...).

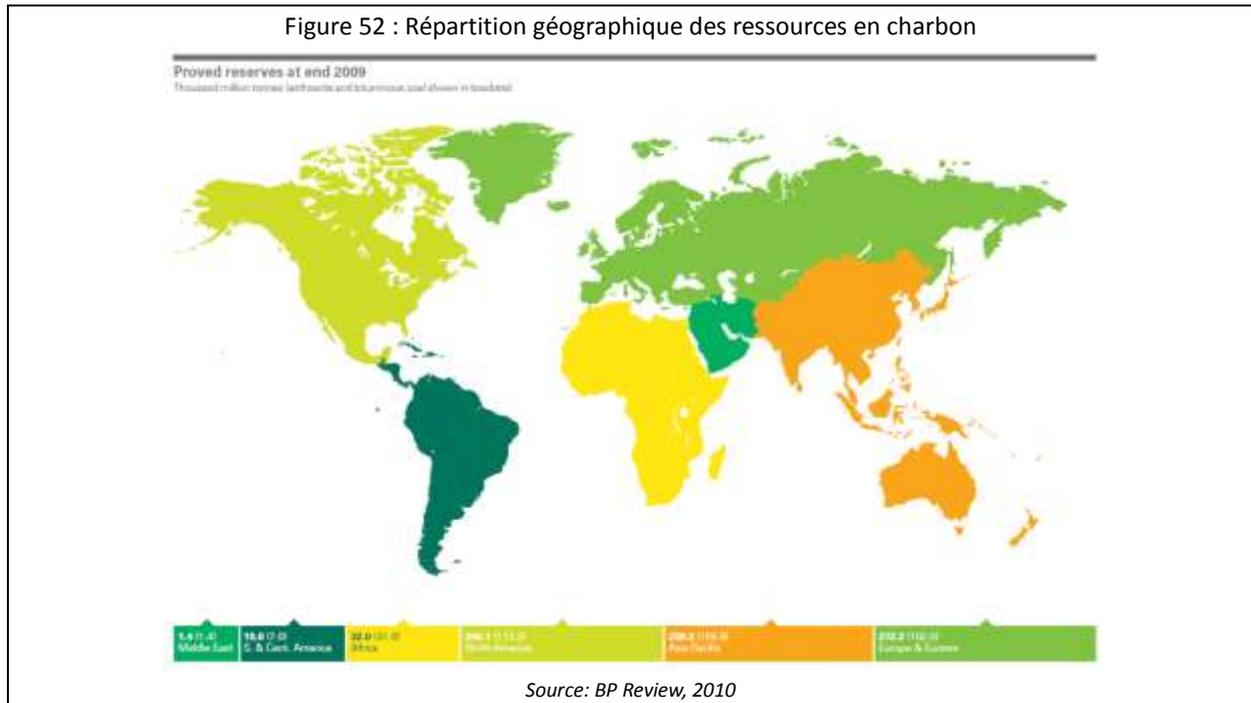
Figure 51 : Répartition géographique des ressources en gaz naturel



Source: BP Review, 2010

Il y a une répartition plus homogène des ressources charbonnières que des hydrocarbures en même temps que les ressources sont plus abondantes. Cela signifie moins de problème de dépendance énergétique et d'approvisionnement. La limite à l'utilisation massive du charbon est le niveau d'émission de gaz carbonique. Son exploitation massive notamment pour la production électrique va dépendre de la capacité à maîtriser la technologie de capture et stockage du CO₂.

Figure 52 : Répartition géographique des ressources en charbon



Les ressources en uranium

L'uranium n'est pas un élément excessivement rare dans la lithosphère. Néanmoins, les gisements contenant des concentrations suffisantes pour justifier une exploitation ne sont pas très nombreux. Ils sont pourtant relativement faciles à découvrir du fait de la radioactivité caractéristique de cet élément qui permet des prospections aéroportées efficaces. L'évaluation des ressources au niveau du globe n'a pas été facile à mener du fait du secret lié au caractère stratégique de cette ressource, notamment pour ses applications militaires.

A la suite des développements des applications civiles, des tensions apparurent sur le marché à la suite des chocs pétroliers des années 70', ensuite dissipés par la fin de la guerre froide. Avec l'effondrement de l'Union Soviétique et la réduction des stocks militaires, à la fin des années 80, d'importantes masses de combustibles ont été mises sur le marché donnant l'impression d'une abondance à bon marché. Les filières des surrégénérateurs ont été abandonnées.

Mais avec la remontée des cours des énergies fossiles et en cas de reprise de la construction des centrales nucléaires conventionnelles, la question de l'importance des ressources se pose à nouveau. Les compagnies concernées ont réinvesti dans l'exploration, notamment AREVA depuis le milieu des années 2000.

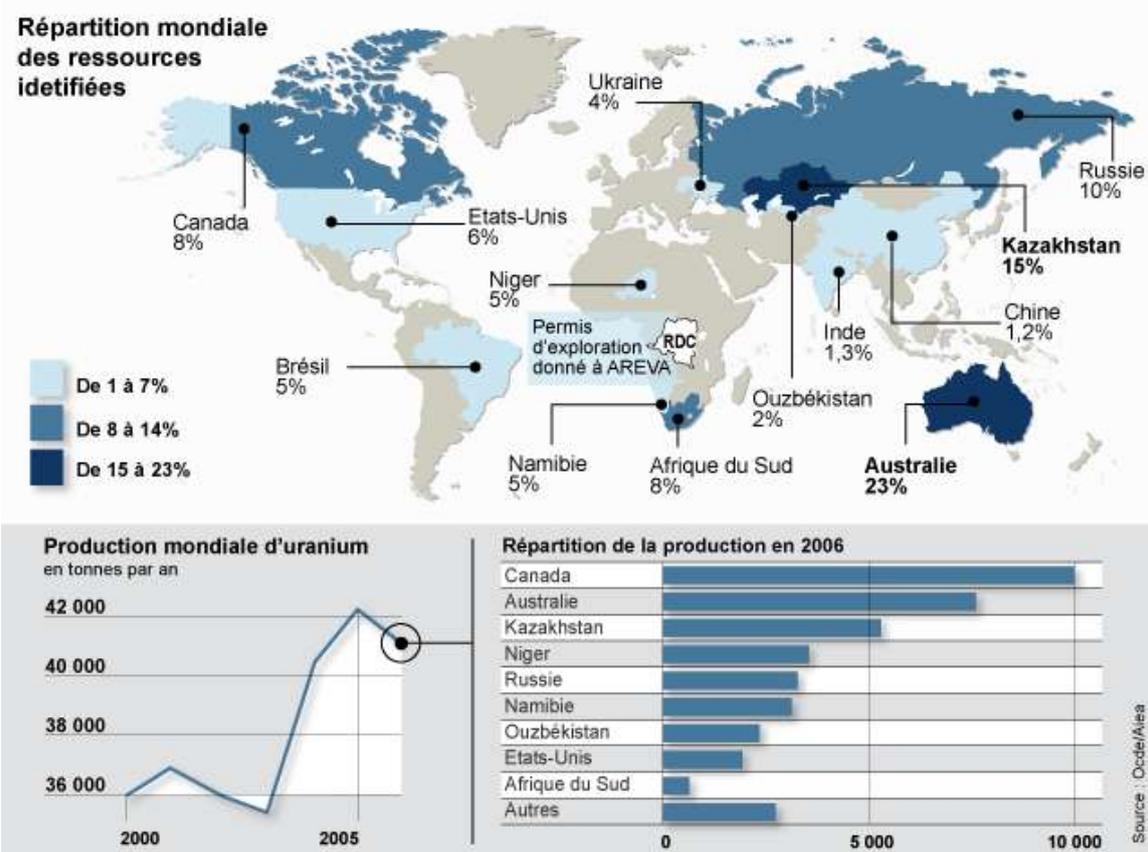
On estime aujourd'hui que les réserves géologiques atteignent 4,74 Mt d'Uranium, alors que la consommation annuelle est de 68.400 t, ce qui représente 69 ans de production à partir des réserves géologiques, auxquelles s'ajoutent 26 ans de production à partir des ressources secondaires (uranium militaire et recyclage). Les gisements sont principalement localisés en Australie, en Amérique du Nord, en CEI et en Afrique. Bien entendu, il est possible de découvrir encore de nouveaux gisements plus profonds, ou même d'extraire l'Uranium de l'eau de mer, mais les teneurs sont infimes. Il apparaît donc que **les ressources en uranium à un coût acceptable atteindront leurs limites à la fin du siècle, notamment en cas d'augmentation du parc nucléaire.**

Il faut également considérer qu'un autre élément radioactif, le **thorium**, qui est présent en abondance plus grande encore dans la lithosphère, permettrait de nouvelles productions nucléaires si cette filière venait à être développée. Mais pour le moment aucun pilote, ni aucune filière industrielle n'ont été développés à cette fin. Ces hypothèses sont établies au regard des technologies actuellement disponibles. La surrégénération ouvre des perspectives bien différentes, mais ces technologies – séduisantes pour les ingénieurs - sont loin d'être au point ou acceptables.

❖ La géopolitique de l'uranium

Les ressources en minerai à forte teneur en uranium sont aussi géographiquement mal réparties : l'Europe, l'Amérique latine et la majorité du territoire africain sont complètement dépourvus de ressources en uranium. L'essentiel de la ressource est localisée en Australie, en Russie et au Canada.

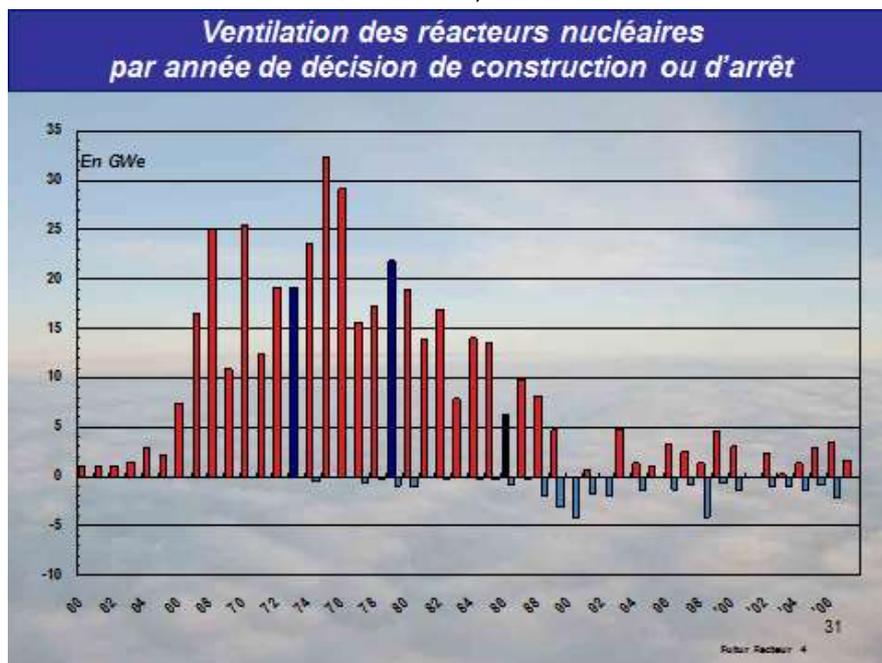
Figure 53 : Ressources et réserves d'Uranium dans le monde : répartition géographique et évaluation des ressources et des réserves globales



Source : Lemonde.fr

❖ Le développement des programmes nucléaires dans le monde

Figure 54 : Les réacteurs nucléaires dans le monde, par année de décision de construction ou d'arrêt (1880-2006)



Source : Futur Facteur 4

Il apparaît donc globalement que toutes ces ressources minérales à finalité énergétiques – énergies de stocks - sont limitées et, qu'en matière d'énergie, le recours aux énergies renouvelables – énergies de flux – va s'imposer, qu'il s'agisse du solaire, de l'éolien, de la biomasse, de l'hydraulique ou de la géothermie, qui constituent autant de ressources énergétiques terrestres et marines renouvelables et durables encore aujourd'hui très peu sollicitées.

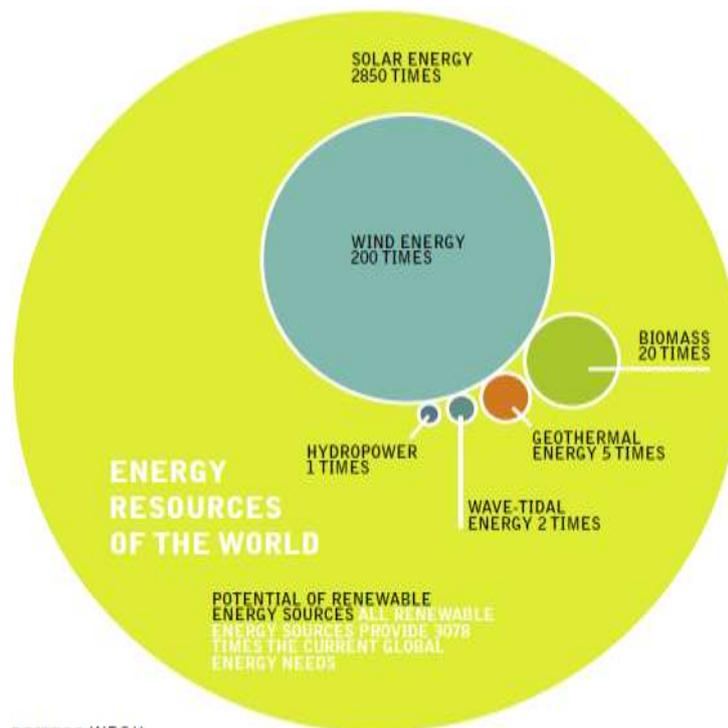
Les énergies renouvelables, quels potentiels ?

Parmi les ressources renouvelables, nous concentrerons ici notre attention sur les ressources énergétiques. Les énergies renouvelables sont des formes d'énergies de **"flux"**, ainsi qualifiées par opposition aux énergies de **"stock"**, vues ci-dessus, elles-mêmes constituées de gisements limités de combustibles fossiles : pétrole, charbon, gaz, uranium.

La figure 56 permet de constater l'abondance de la ressource disponible, bien au-delà des besoins de l'humanité. L'énergie solaire (flux de chaleur solaire) est de trois ordres de grandeur supérieure, la biomasse 20 fois, la géothermie 5 fois (flux géothermique), l'énergie de la mer 2 fois, l'hydroélectricité 1 fois (source EREC¹¹⁶).

¹¹⁶ European Renewable Energy Council : <http://www.erec.org/>

Figure 55 : Les ressources énergétiques renouvelables de la planète comparées aux consommations actuelles de la population terrestre



Ces énergies sont dites renouvelables parce que leur consommation présente ou passée n'entame en rien leur production future ; en ce sens, ce sont des énergies inépuisables. Fournies par le soleil, le vent, la chaleur de la Terre, les chutes d'eau, les marées ou encore la croissance des végétaux, leur exploitation n'engendre pas ou peu de déchets et d'émissions polluantes. Si la combustion de la biomasse est émettrice de CO₂, il s'agit d'un cycle court du carbone atmosphérique, à la différence de celle des fossiles.

Si elles ont été exploitées de tous temps, ce sont les énergies de l'avenir, dans la mesure où les technologies et l'innovation accroissent régulièrement la performance des dispositifs de capture et de production utile. Du fait des cours très bas des énergies fossiles ces dernières années, elles sont aujourd'hui sous-exploitées relativement à leur potentiel. Ainsi, les énergies renouvelables couvrent seulement 20 % de la consommation mondiale d'électricité.

Quel est l'intérêt d'exploiter les énergies renouvelables ?

- En utilisant les énergies renouvelables, on lutte contre l'effet de serre, en réduisant notamment les rejets de gaz carbonique dans l'atmosphère.
- En développement dans le monde entier, les énergies renouvelables permettent de gérer de façon intelligente les ressources locales et de créer des emplois.
- Elles permettent de réserver les ressources fossiles (pétrole notamment) pour d'autres usages plus durables et utiles que la production d'énergie (plastiques par exemple).

Parmi les énergies renouvelables, on peut distinguer les options suivantes :

- **Le solaire photovoltaïque** : des modules solaires produisent de l'électricité à partir de la lumière du soleil. Ils alimentent des sites isolés ou le réseau de distribution général. L'intégration à l'architecture est l'avenir du photovoltaïque dans les pays industrialisés.
- **Le solaire thermique** : les capteurs solaires produisent de l'eau chaude sanitaire. Souvent situés sur les toits comme les précédents, ils peuvent être aussi utilisés pour le chauffage, idéalement par le sol. Plusieurs dizaines de millions de mètres carrés de capteurs sont installés dans le monde.
- **Les capteurs solaires dits « à concentration » ou « haute température »** produisent de l'électricité par vapeur interposée : quelques centrales de ce type existent dans le monde. Cette option présente l'avantage, relativement au photovoltaïque, de permettre un stockage du fluide chaud et donc une production d'électricité plus continue (moins dépendante des fluctuations jour/nuit).
- **L'éolien** : les aérogénérateurs, mis en mouvement par le vent, fabriquent des dizaines de millions de MWh. Utile dans les sites isolés, cette électricité alimente aussi les grands réseaux de distribution. Les éoliennes mécaniques ont longtemps servi pour produire la farine (moulins à vents), et servent encore à pomper de l'eau dans de nombreux pays.
- **L'hydroélectricité** : des unités de toutes puissances, depuis les microcentrales jusqu'aux grands barrages forment la filière hydraulique, deuxième source d'énergie renouvelable dans le monde. Des turbines installées sur les cours d'eau utilisent la force motrice des chutes pour générer de l'électricité. Celle-ci est injectée dans le réseau ou alimente des sites qui n'y sont pas raccordés. Si la plupart des grands sites possibles sont désormais installés, les microcentrales ont encore de bonnes perspectives de développement. Il s'agit d'unités de production ne dépassant pas 10 MW de puissance.
- **La biomasse** (divers produits de sources végétales) réunit notamment le bois, la paille, les rafles de maïs ou autres sous-produits agricoles, ainsi que le biogaz et les biocarburants obtenus à partir de la fermentation de ces produits. Le bois énergie représente 14 % de la consommation énergétique mondiale. Issu des déchets de la forêt ou des industries du bois, il est brûlé pour produire de la chaleur. Soit directement, soit sous forme de charbon de bois, plus léger et permettant de meilleures performances (ex. : métallurgie). Le biogaz issu de la fermentation des déchets organiques peut être utilisé pour produire de la chaleur ou de l'électricité, ou les deux (cogénération). Les biocarburants proviennent de plantes cultivées (tournesol, betterave, colza...). Le biodiesel (ou ester méthylique d'huile végétale, EMHV), l'éthanol, et son dérivé, l'éthyl-tertio-butyl-ether, l'ETBE sont les plus courants. Ils sont mélangés à de l'essence ou à du gazole.
- **La géothermie** : cette énergie utilise la chaleur de la terre. Dans les zones à gradient normal (3°C par 100m, avec 12°C en surface en moyenne au niveau de la mer), avec une température moyenne ou faible, on chauffe des locaux, alors qu'une température élevée permet de produire de l'électricité par vapeur interposée. Ces dernières applications sont économiquement intéressantes dans les zones géodynamiques actives (terrains volcaniques, frontières de plaques tectoniques).
- **Les énergies de la mer** : comprennent les usines marémotrices et les systèmes d'exploitation de l'énergie de vagues, ou de la houle.

Tableau 12 : Tableau récapitulatif des différentes formes d'énergies renouvelables, avec indication de leurs usages

QUELLE SOURCE D'ÉNERGIE ?	COMMENT LA CAPTER ET LA TRANSFORMER ?	SOUS QUELLE FORME L'UTILISER ?
 photovoltaïque	<ul style="list-style-type: none"> cellules photovoltaïques serres, murs capteurs 	<ul style="list-style-type: none"> électricité directe ou stockée en batteries électricité injectée dans le réseau chauffage
 Le soleil	<ul style="list-style-type: none"> capteurs solaires basse température capteurs solaires haute température 	<ul style="list-style-type: none"> eau chaude sanitaire chauffage par le plancher électricité injectée dans le réseau chaleur à très haute température dans un four
 Le vent	<ul style="list-style-type: none"> moulin à vent éolienne mécanique aérogénérateur 	<ul style="list-style-type: none"> force mécanique (mouture de céréales...) force mécanique (pompage de l'eau) électricité directe ou stockée en batteries électricité injectée dans le réseau
 L'eau	<ul style="list-style-type: none"> moulin à eau petite centrale hydroélectrique grande centrale hydroélectrique énergie des mers (marées, courants et vagues) 	<ul style="list-style-type: none"> force mécanique (mouture de céréales...) électricité directe ou stockée en batteries électricité injectée dans le réseau électricité injectée dans le réseau électricité injectée dans le réseau
 Le vivant	<ul style="list-style-type: none"> distillerie, unité d'estérification (oil, betterave, colza, tournesol) chaudière biocombustibles (bois, sciure, paille, rafles de maïs...) biodigester, méthaniseur (déchets organiques, poubelles) 	<ul style="list-style-type: none"> biocarburants pour les transports chauffage électricité (par cogénération) injectée dans le réseau biogaz pour les transports biogaz pour le chauffage ou l'électricité
 La Terre	<ul style="list-style-type: none"> pompes à chaleur (source à moins de 30 °C) centrales basse et moyenne énergie (130 °C à 150 °C) centrales haute énergie (plus de 150 °C) centrales sur roches chaudes fracturées 	<ul style="list-style-type: none"> chauffage climatisation chauffage chauffage électricité injectée dans le réseau électricité injectée dans le réseau

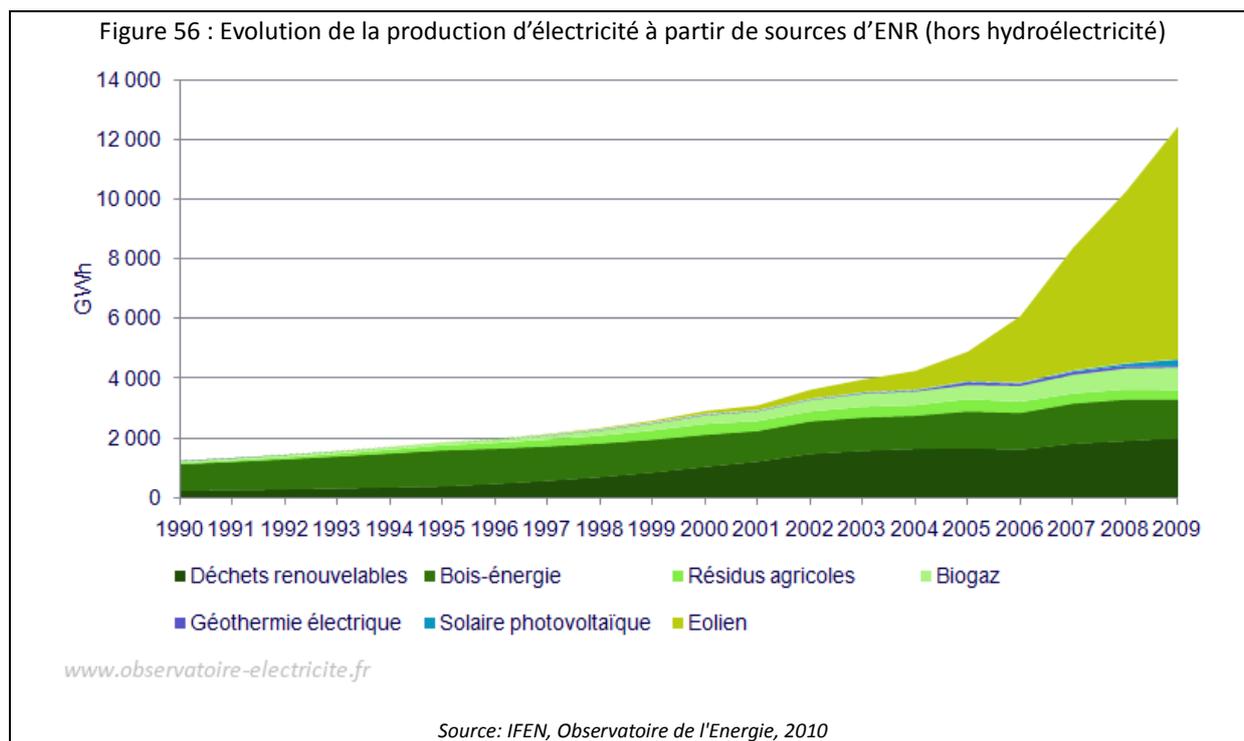
Source : Observ'Er, www.energies-renouvelables.org

❖ Les énergies renouvelables dans la production mondiale d'électricité

La part des énergies renouvelables dans la production mondiale d'électricité a dépassé 4 millions de TWh en 2010, soit 19,6% de la production mondiale d'électricité. Ce qui est supérieur à la production nucléaire (13%). Les combustibles fossiles restent largement dominants dans la production d'électricité (67,2%). L'hydroélectricité se taille la part du lion (83% de l'électricité renouvelable), suivie de l'éolien (8,3% du total renouvelable), de la biomasse (6,3%), de la géothermie (1,6%), du solaire (0,8%), les énergies marines restant marginales (0,01%).

La croissance de la production d'électricité renouvelable a été de 3,6% en moyenne entre 2000 et 2010, pratiquement le même que celui des combustibles fossiles. C'est néanmoins une croissance un peu supérieure à l'électricité conventionnelle (+3,1%) du fait de la faible croissance du nucléaire (+0,6% par an en moyenne). Ainsi, la part des énergies renouvelables dans la production est en augmentation nette depuis 2004 (de 17,9% en 2004 à 19,6% en 2010).

Alors que ces dernières années, l'hydraulique était la seule énergie renouvelable à augmenter, ce n'est plus le cas aujourd'hui. La croissance des énergies renouvelables hors hydraulique a été 5 fois plus forte que celle de l'hydraulique (12,5% contre 2,5%). La part de l'électricité renouvelable hors hydraulique est ainsi passée de 1,4% à 3,4% du total entre 2000 et 2010. La croissance la plus forte est assurée en pourcentage par la filière solaire (38%), suivie de l'éolien (27%). En nombre de kW installés ou de kWh produits, l'éolien est loin devant comme en témoigne le graphique suivant.



La production d'électricité à partir de sources d'énergies renouvelables (hors hydroélectricité) a été multipliée par près de 10 entre 1990 et 2009. Les deux filières ayant connu les plus forts taux de croissance sur cette période sont l'éolien et le solaire photovoltaïque.

❖ Les énergies renouvelables en Europe

Au sein de l'Europe, on observe une grande disparité en matière de production d'électricité d'origine renouvelable. Si la moyenne est de 12,4% en 2010, en croissance de 0,9% sur un an, le taux de pénétration est très divers : de moins de 5% au Luxembourg, aux Pays-Bas ou en Grande-Bretagne, il dépasse 30% en Autriche, en Suède, en Finlande et en Lettonie, du fait de l'importance des ressources hydro-électriques de ces pays. La France se situe juste dans la moyenne à 12,4%. L'Allemagne est à 10,7% mais avec un taux de croissance supérieur. Pour atteindre l'objectif affiché par l'U.E., consistant à atteindre 20% d'électricité renouvelable en 2020, il serait nécessaire que tous les pays aujourd'hui au plus bas niveau atteignent au moins 10%, et que les pays les plus producteurs augmentent encore leur part de renouvelables (la Suède approcherait les 50%), la France affichant un ambitieux 23%.

A plus long terme, l'Europe affiche des objectifs modérément ambitieux : 25% en 2030 et 50% en 2050, qui passent par une forte réduction des consommations de pétrole et de combustibles solides, le gaz et le nucléaire conservant des niveaux quasi-constants (cf. figures ci-dessous).

Tableau 13 : Production d'énergie renouvelable en Europe, par pays en 2009 et 2010 (en % de la production électrique), et objectif assigné pour 2020

	2009	2010	Objectif 2020 de la directive 2009/28/CE Objective 2020 from the 2009/28/EC Directive
Sweden	47,7%	46,9%	49,0%
Latvia	35,5%	34,3%	40,0%
Finland	30,7%	33,6%	38,0%
Austria	30,2%	30,7%	34,0%
Portugal	24,7%	24,7%	31,0%
Estonia	23,4%	24,1%	25,0%
Denmark	19,2%	23,0%	30,0%
Slovenia	19,7%	21,7%	25,0%
Romania	22,9%	21,4%	24,0%
Lithuania	20,8%	21,1%	23,0%
Spain	12,9%	14,1%	20,0%
Bulgaria	11,6%	12,9%	16,0%
France	11,7%	12,4%	23,0%
Slovakia	10,7%	11,4%	14,0%
Germany	9,3%	10,7%	18,0%
Poland	9,0%	9,9%	15,0%
Czech Republic	8,5%	9,7%	13,0%
Greece	8,0%	9,1%	18,0%
Italy	7,7%	8,5%	17,0%
Hungary	8,5%	8,5%	13,0%
Ireland	5,1%	5,9%	16,0%
Cyprus	4,9%	5,5%	13,0%
Belgium	4,7%	5,4%	13,0%
Netherlands	4,0%	3,8%	14,0%
United Kingdom	3,0%	3,3%	15,0%
Luxembourg	2,6%	2,6%	11,0%
Malta	0,2%	0,3%	10,0%
European Union (27 countries)	11,5%	12,4%	20,0%

Source : EurObserver, 2011

On observe une grande disparité actuelle parmi les pays européens, et le caractère plus ou moins ambitieux des objectifs affichés. La France se situe dans la moyenne européenne mais s'est fixé pour 2020 un objectif de 23%, supérieur à la moyenne européenne (23%).

Le graphique suivant (figure 58) propose un aperçu des scénarios énergétiques de l'UE.

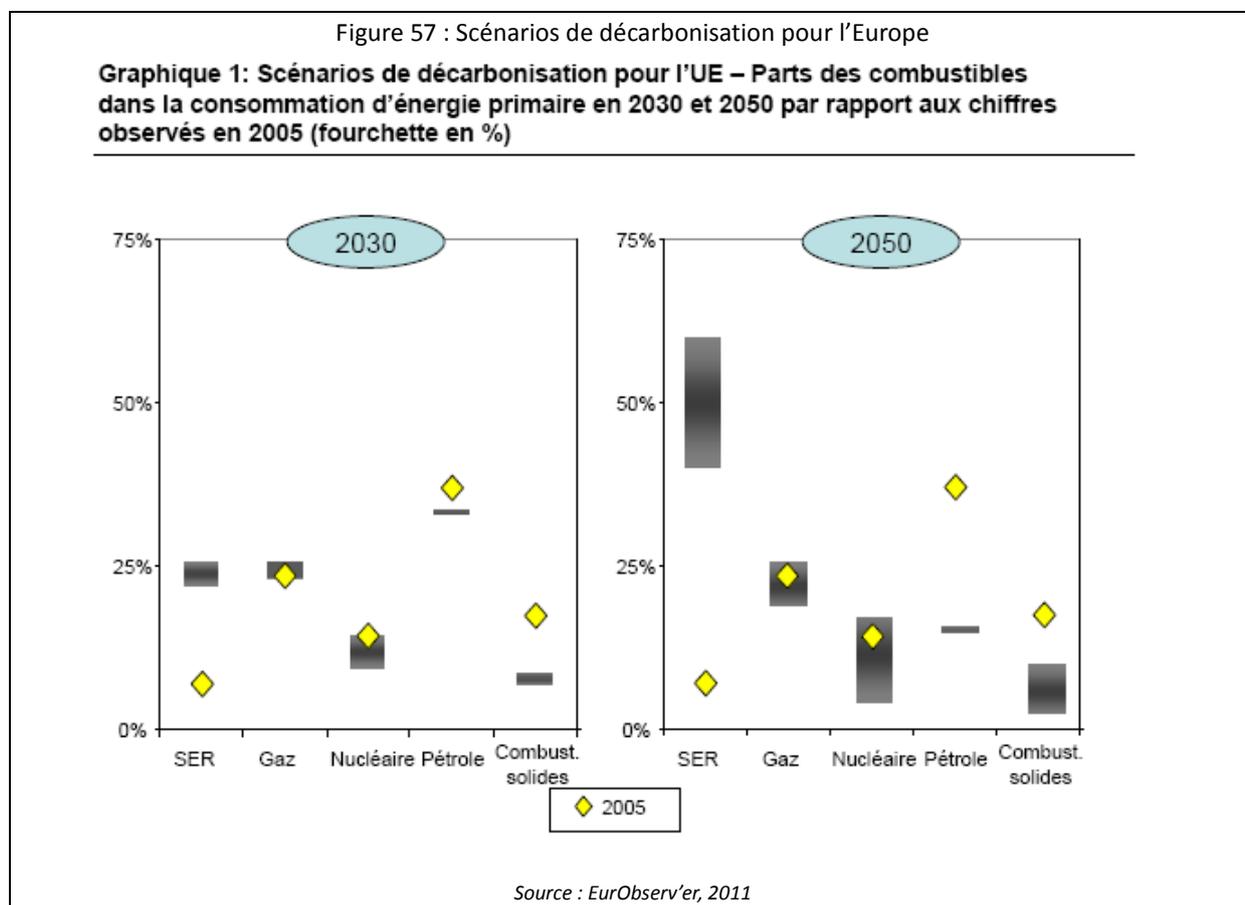
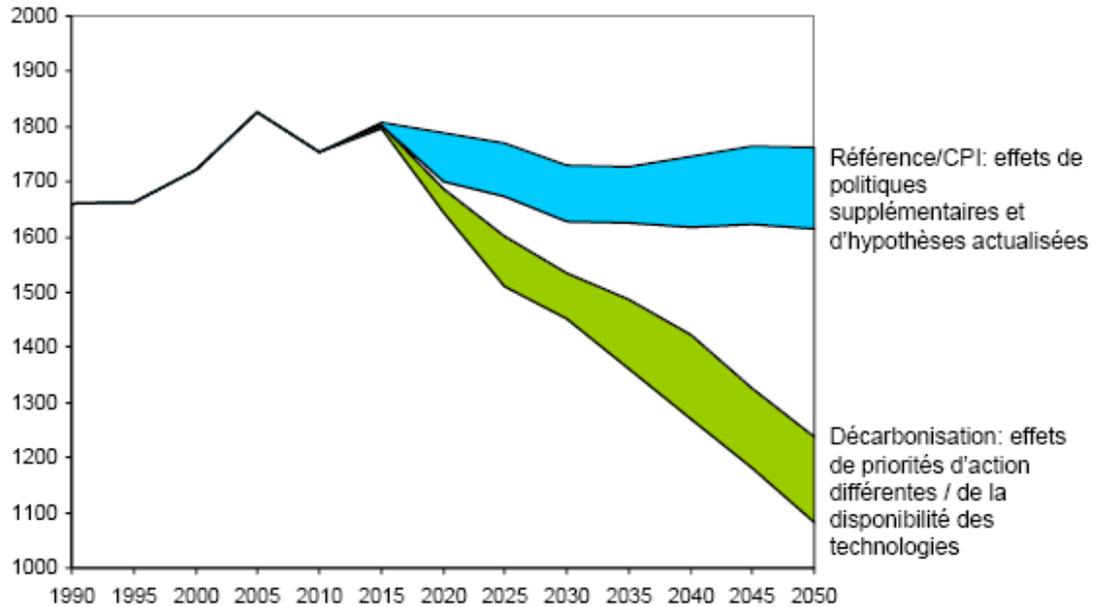


Figure 58 : Consommation brute d'énergie, fourchettes pour les scénarios basés sur les tendances actuelles et les scénarios de décarbonisation (en Mtep)

Graphique 3: Consommation brute d'énergie – fourchettes pour les scénarios basés sur les tendances actuelles (REF/CPI) et les scénarios de décarbonisation (en Mtep)



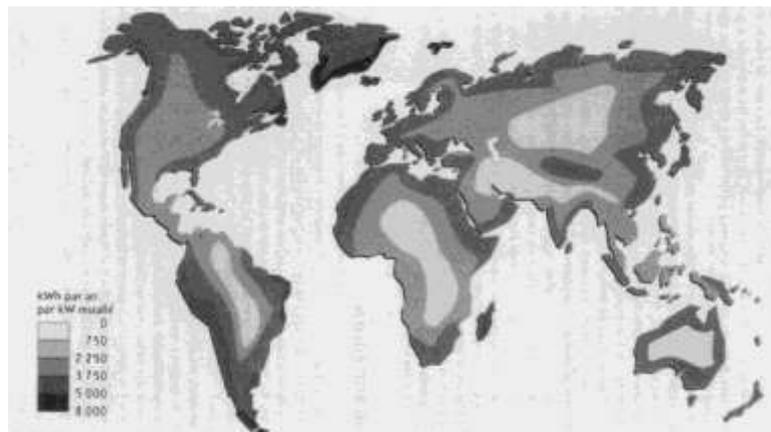
Source : EurObserv'er, 2011

❖ Les potentiels en énergies renouvelables

Eolien

✓ Dans le monde

Figure 59 : Répartition du potentiel éolien dans le monde



Source : acces.inrp.fr, <http://www.electron-economy.org>

Le potentiel est très important en Amérique du Nord, en Russie, sur la façade est de l'Atlantique et en Australie. Il est très faible autour de l'équateur. Cette énergie peut également présenter un intérêt pour l'Asie du Sud-Est et l'Amérique du Sud. Malheureusement, en onshore comme en offshore, l'Afrique reste peu dotée en vents intéressants.

La puissance éolienne totale installée dans l'année 2010 a été de 36 GW, portant la puissance mondiale à près de 195 GW soit +22%, la croissance dépassera 50GW/an d'ici 2 ans. Cette croissance s'est faite pour plus de la moitié en Asie, l'Europe représentant encore plus du quart du marché mondial devant l'Amérique du Nord. L'Europe dispose de la plus forte puissance totale installée, avec plus de 84 GW soit plus de 44% du parc mondial, devant l'Asie (30%) et l'Amérique du Nord (près de 23%).

Tableau 14 : Les dix premiers constructeurs d'éoliennes en 2009 dans le monde

Top dix des constructeurs en 2009
Top ten suppliers in 2009

Entreprise Company	Pays Country	MW fournis en 2009 Supplied MW 2009	MW fournis en 2010* Supplied MW 2010*	Chiffre d'affaires 2009 en M€ Turnover 2009 in M€	Chiffre d'affaires 2010 en M€ Turnover 2010 in M€	Salariés en 2009 Employees 2009	Salariés en 2010 Employees 2010
Vestas	Denmark	6 131	4 057	5 079	6 920	20 730	23 252
GE Wind	United States	4 741	n.a.			3 000	
Sinovel	China	3 510	n.a.			2 000	2 000
Enercon	Germany	3 221	3 000	3 400	3 600	n.a.	n.a.
Suzlon	India	2 790	1 460	4 217	3 334	14 000	16 000
Goldwind	China	2 727	n.a.			1 130	1 500
Gamesa	Spain	2 546	2 400-2 500	3 229	n.a.	6 360	6 300
Siemens Wind Power	Germany	2 500	2 900	2 935	3 272	5 500	7 000
Dongfang Energy	China	2 475	n.a.				
REpower	Germany	1 297	n.a.	1 325	1 230	1 900	2 200
Others		7 033	n.a.				
Total		38 971					

* Données préliminaires ou attendues. Preliminary or expected data. Les décimales sont séparées par une virgule. Decimals are written with a comma.
Source: EurObserv'ER 2011.

Source : EurObserv'ER, 2011

L'industrie éolienne est répartie dans le monde selon l'importance des marchés nationaux et la compétitivité des entreprises. Ainsi, les constructeurs danois et allemands ont longtemps dominé, mais on assiste à la montée en puissance des constructeurs chinois et indiens. Ainsi trois entreprises chinoises figurent désormais parmi les 10 premières mondiales (cf. tableau 14 ci-dessus).

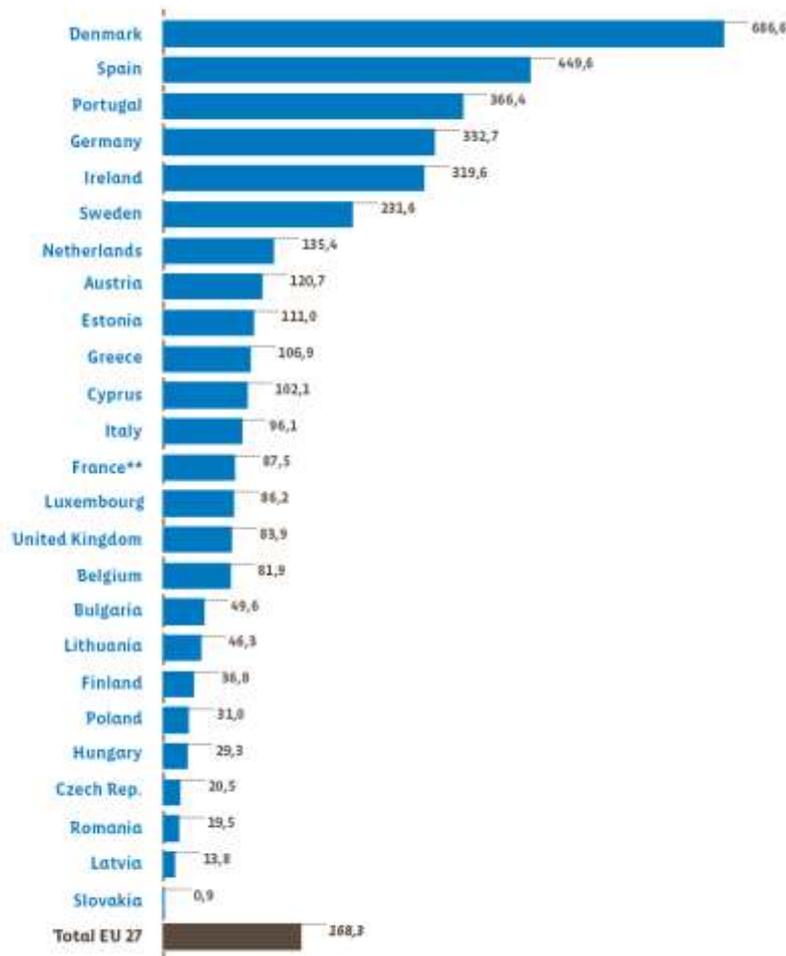
✓ **En Europe**

Le marché de l'UE est actuellement de l'ordre de 10 GW annuel (soit env. 13MM€), tiré par l'Europe de l'Est et l'offshore qui compense la baisse des marchés d'Europe de l'Ouest (Espagne, Allemagne, France, Italie, Royaume-Uni). Les constructeurs allemands et danois sont dominants, et un espagnol émerge également. La France et le Royaume-Uni font partie des pays les moins bien équipés avec respectivement la 13^e (87,5 kW pour 1 000 hab.) et la 15^e place (83,9kW pour 1000 hab.), et leur industrie correspondante est peu développée.

Les gouvernements ont l'obligation d'adapter leur législation pour intégrer les objectifs de la directive énergies renouvelables, qui impose des Plans d'action nationaux (NREAP) et une feuille de route pour chaque filière. Ce développement nécessitera la création d'infrastructures offshore, le renforcement des lignes existantes et une meilleure interconnexion des réseaux européens.

Figure 60 : Puissance éolienne pour 1 000 habitants dans les pays de l'Union Européenne en 2010 (kW/1 000hab.)

Puissance éolienne pour 1 000 habitants dans les pays de l'Union européenne en 2010 (kW/1 000 hab.)*
 Wind power capacity per 1 000 EU inhabitants in 2010 (kW/1 000 inhab.)*



* Estimation. Estimate. Les décimales sont séparées par une virgule. Decimals are written with a comma. ** DOM COM inclus. French Overseas Departments and Territories included. Source: EurObserv'ER 2011.

Source : EurObserv'ER, 2011

✓ **En France**

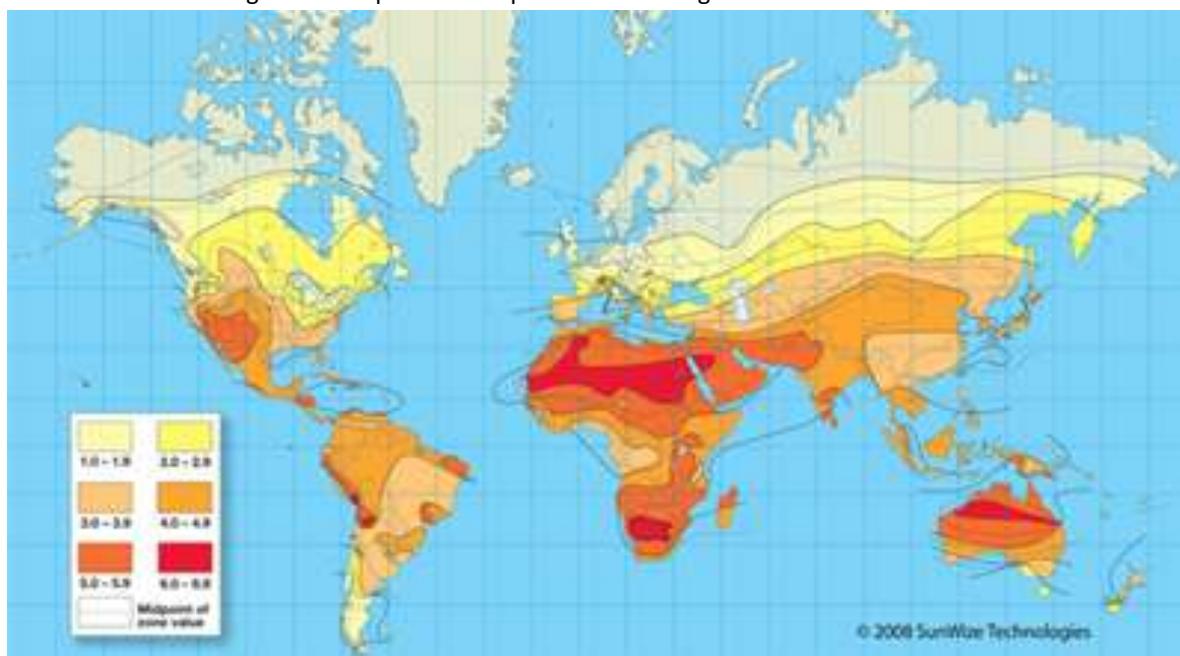
Le marché français est stable autour du GW installé par an. La Loi Grenelle II (juillet 2010) impose un régime plus contraignant aux exploitants : respect des règles des installations classées pour l'environnement (ICPE), parcs minimum de cinq machines. Le prix de rachat est resté inchangé : 8,2 c €/kWh pour 10 ans, de 8,2 à 2,8 c€/kWh pour les cinq années suivantes, selon la productivité du site. Le premier appel d'offres éolien offshore a été lancé en janvier 2012 pour une puissance de 3000 MW, soit 2 % de la consommation du pays. L'objectif national pour 2020 est de 25 000 MW dont 6 000 MW en mer. La production éolienne a atteint 9,6 TWh en 2010 selon le RTE soit + 22% par rapport à l'année précédente (+1,7 TWh). La pointe a été portée à 4 200 MW, soit un facteur de charge de 77%, contre 22 % en moyenne, restée stable.

Solaire

✓ **Dans le monde**

La géographie de la ressource solaire est en quelque sorte à l'inverse de celle de l'éolien, concentrée sur l'équateur et surtout autour des tropique du Cancer et du Capricorne. Le potentiel est donc très intéressant pour les pays des zones tropicales et équatoriales.

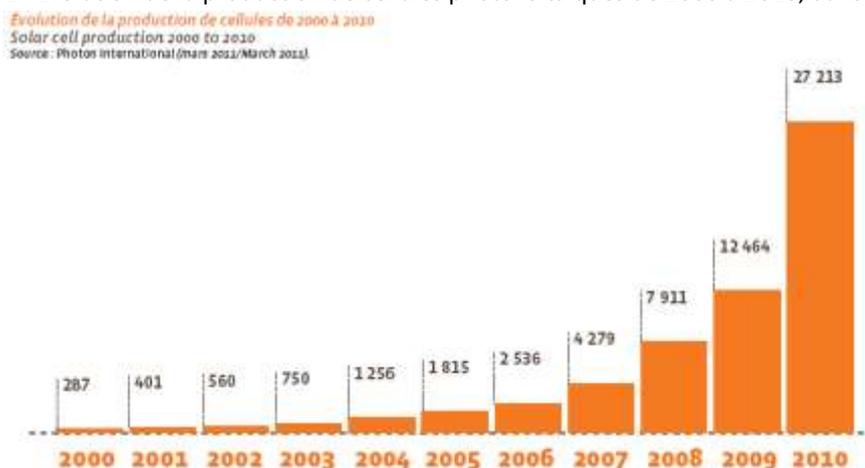
Figure 61 : Répartition du potentiel en énergie solaire dans le monde



Source : <http://inter-engineer.com/fr/services.html>

L'industrie solaire photovoltaïque est en développement rapide, du fait de mécanismes incitatifs mis en place dans de nombreux pays, avec un quasi-doublement de la production de cellules au cours des quatre dernières années.

Figure 62 : Évolution de la production de cellules photovoltaïques de 2000 à 2010, dans le monde



Source : EurObserv'er, 2011

Au cours de ces dernières années, du fait des progrès technologiques et du développement d'unités de production performantes, notamment dans les pays émergents (Chine, Inde...), les coûts sont passés d'un peu moins de 4 000€ par kWc en 2009 à 2500€ en 2011 (pour des installations en toiture en Allemagne), contribuant à accélérer le développement du marché.

La production chinoise domine de plus en plus le marché, avec quatre producteurs parmi les cinq premiers mondiaux. Les bas prix des industriels chinois sont venus concurrencer les produits japonais et taiwanais également en forte croissance. Il résulte de cette offre dynamique que la tendance à la baisse des prix concerne l'ensemble des marchés photovoltaïques dans le monde. Ainsi, dans les pays où le coût de l'électricité est relativement élevé, le coût de production du kWh photovoltaïque tend désormais à égaliser le coût d'achat de l'électricité au détail. En Europe, cette chute des coûts d'installation n'avait pas été anticipée par les systèmes nationaux d'incitation, restés trop élevés et créant un emballement des marchés, littéralement inondés par les produits d'importation.

Tableau 15 : Les dix premiers fabricants de cellules photovoltaïques (en MWc)

Les 10 premiers fabricants de cellules photovoltaïques (en MWc)
The top 10 photovoltaic cell manufacturers (in MWp)*

Entreprises Companies	Pays Country	Technologie des cellules** Cell technology**	Production capacity		Production	
			2010	2011	2009	2010
Suntech Power	China	Crystalline (mono, multi)/ Thin Film (a-Si, mc-Si)	1 800	2 400	704	1 572
JA Solar	China	Crystalline (multi)	1 800	3 000	509	1 460
First Solar	USA	Thin film modules (CdTe)	1 502	2 254	1 100	1 412
Trina Solar	China	Crystalline (mono)	1 200	1 900	399	1 064
Yingli Green Energy	China	Crystalline (multi)	980	1 700	525	1 062
Q-Cells	Germany	Crystalline (mono, multi)/Thin Film (CIGS, CdTe)	1 235	1 335	551	1 014
Motech Industries	Taiwan	Crystalline (mono, multi)	1 200	1 800	360	945
Sharp	Japan	Crystalline (mono, multi)/ Thin Film (a-Si, mc-Si)	1 000	1 400	595	910
Gintech	Taiwan	Crystalline (mono, multi)	930	1 500	368	827
Kyocera	Japan	Crystalline (mono, multi)	n.a	1 000	400	650

* Estimation. Estimate. Les décimales sont séparées par une virgule. Decimals are written with a comma. ** CdTe: tellurure de cadmium (Cadmium telluride), a-Si: silicium amorphe (amorphous silicon), mc-Si: silicium microcristallin (microcrystalline silicon), CIGS: cuivre indium gallium sélénium (copper indium gallium diselenide), silicium monocristallin (monocrystalline silicon), silicium polycristallin (polycrystalline silicon). Source : Eurobserv'ER 2011.

Source : EurObserv'ER, 2011

✓ En Europe

Au cours de l'année 2010, 13M de MWc ont été connectés dans l'Union européenne à partir de modules photovoltaïques, plus du double de l'année antérieure. Ces installations supplémentaires portent la puissance du parc photovoltaïque de l'UE à près de 30MMWc. Cette croissance, qui porte la puissance photovoltaïque par habitant à 58,5 Wc, plus importante qu'attendue, résulte de la baisse continue des coûts des installations. Dans les pays les plus dynamiques en la matière (Espagne, Portugal, Allemagne, entre autres) s'ouvre la possibilité d'un développement encore plus robuste des filières, quelques années avant l'échéance de la Directive énergies renouvelables (DER), avec une contribution plus significative du solaire dans la production d'électricité. De ce fait, les 84 M de MWc photovoltaïques (dont les 2/3 en Allemagne) prévus dans le cadre des Plans d'action nationaux énergie renouvelable (PANER) par les 27 pays membres de l'UE devraient être largement dépassés.

Tableau 16 : Puissance photovoltaïque cumulée dans les pays de l'UE en 2009 et 2010 (en MWc)

Puissance photovoltaïque cumulée dans les pays de l'Union européenne en 2009 et 2010 (en MWc)*
Photovoltaic capacity to date by European Union, year-ending 2009 and 2010 (MWp)*

	2009			2010*		
	Réseau On grid	Hors réseau Off grid	Total Total	Réseau On grid	Hors réseau Off grid	Total Total
Germany	9 914,0	45,0	9 959,0	17 320,0	50,0	17 370,0
Spain	3 467,9	20,1	3 488,0	3 894,9	21,1	3 916,0
Italy	1 144,0	13,4	1 157,4	3 465,0	13,5	3 478,5
Czech Republic	462,9	0,4	463,3	1 958,7	0,4	1 959,1
France	306,0	29,2	335,2	1 025,0	29,3	1 054,3
Belgium	386,0	0,1	386,1	904,0	0,1	904,1
Greece	48,2	6,8	55,0	198,5	6,9	205,4
Slovakia	0,2	0,0	0,2	143,7	0,1	143,8
Portugal	99,2	3,0	102,2	127,7	3,1	130,8
Austria	49,0	3,6	52,6	91,7	3,8	95,5
Netherlands	62,0	5,0	67,0	83,0	5,0	88,0
United Kingdom	24,8	1,7	26,5	74,9	2,0	76,9
Slovenia	8,9	0,1	9,0	45,4	0,1	45,5
Luxembourg	26,4	0,0	26,4	27,3	0,0	27,3
Bulgaria	5,7	0,0	5,7	17,2	0,0	17,2
Sweden	3,6	5,1	8,7	5,7	5,7	11,4
Finland	0,2	7,5	7,6	0,2	9,5	9,6
Denmark	4,0	0,5	4,6	6,3	0,7	7,1
Cyprus	2,7	0,6	3,3	5,6	0,7	6,2
Romania	0,2	0,4	0,6	1,3	0,6	1,9
Poland	0,3	1,1	1,4	0,5	1,3	1,8
Hungary	0,5	0,2	0,7	1,5	0,3	1,8
Malta	1,5	0,0	1,5	1,7	0,0	1,7
Ireland	0,1	0,5	0,6	0,1	0,5	0,6
Lithuania	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
Estonia	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
Total EU	16 018,2	144,5	16 162,7	29 399,9	154,8	29 554,7

* Estimation Estimate. – Les décimales sont séparées par une virgule. Decimals are written with a comma.
 Source: EurObserv'ER 2011

Source : EurObserv'ER, 2011

Le marché du solaire thermique est aussi en rapide développement en Europe, où il est également dominé par l'Allemagne, suivie de l'Espagne et de l'Italie.

Tableau 17 : Surfaces annuelles installées en 2010 par type de capteurs (en m²) et puissances correspondantes

Surfaces annuelles installées en 2010 par type de capteurs (en m²) et puissances correspondantes (en MWth)*
Annual installed surfaces in 2010 by collector type (m²) and power equivalent (MWth)*

	Capteurs vitrés/Glazed collectors		Capteurs non vitrés Unglazed collectors	Total (m ²)	Puissance équivalente Equivalent power (MWth)
	Capteurs plans vitrés Flat plate collectors	Capteurs sous vide Vacuum collectors			
Germany	1 035 000	115 000	20 000	1 170 000	819,0
Italy	426 300	63 700	n.a.	490 000	343,0
Spain	315 500	21 500	11 000	348 000	243,6
France**	271 380	30 000	6 000	307 380	215,2
Austria	279 200	6 160	6 640	292 000	204,4
Greece	207 000	n.a.	n.a.	207 000	144,9

✓ **En France**

L'année 2010 a été marquée en France aussi par une croissance du marché photovoltaïque, notamment du fait de la baisse sensible des coûts d'installation. 719 MWc de panneaux solaires photovoltaïques ont été connecté au réseau (source: SOeS), portant la puissance cumulée reliée au réseau à plus de 1000 MWc. Le gouvernement a jugé ce rythme de croissance trop élevé, le Grenelle de l'environnement ayant fixé l'objectif de 1 100 MWc pour fin 2012 et 5 400 MWc pour 2020 ; en effet, le PANER (Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables¹¹⁷) avait établi, dans le cadre de la DER (directive sur les énergies renouvelables de l'UE¹¹⁸), cette contribution à moins de 5 000 MWc, pour laisser plus de 500 MWc de production au solaire concentré. De ce fait, un nouveau mécanisme a été créé en mars 2011 : les tarifs d'achat sont fixés chaque trimestre pour les installations sur bâtiments de moins de 100 kWc et par appels d'offres pour les centrales au sol et les installations de plus de 100 kWc. Chaque trimestre, les ministres en charge de l'énergie et de l'économie arrêtent le tarif en fonction des demandes reçues par les gestionnaires de réseaux. Si le nombre de projets déposés est conforme à la trajectoire prévue, le tarif d'achat est abaissé de 2,6 %. S'il est moins important, la baisse est moindre. Si le flux est plus élevé, la baisse est accentuée. Le tarif initial dépend du type d'installation et de la puissance de la centrale et varie de 46 c€/kWh (installations résidentielles jusqu'à 9 kWc) à 40,25 c€/kWh (de 9 à 36 kWc). Les critères impliquent que le système photovoltaïque assure le clos et le couvert du bâtiment. Dans les autres cas, le tarif varie de 30,35 c€/kWh pour les installations inférieures à 36 kWc, à 28,83 c€/kWh pour les centrales jusqu'à 100 kWc. Des tarifs préférentiels existent pour bâtiments de santé ou d'enseignement. Ce dispositif cible un objectif de 500 MWc par an. Les perspectives de développement pour 2011 et 2012 sont néanmoins évaluées de 1 000 à 1500 MWc par an. La cible annuelle de 500 MWc pourra être revue à la hausse jusqu'à 800 MWc. L'industrie française devra encore patienter et développer des programmes de recherche innovants pour espérer, un jour, participer à la compétition internationale.

Le marché français du solaire thermique est en baisse avec moins de 260 000 m² installés en métropole et moins de 45 000 m² dans les DOM (45 956 m² en 2009). Pour la métropole, il s'agit de chauffe-eau solaires individuels (35 000 env.), de systèmes combinés eau chaude plus chauffage (env. 2 500) et environ 70 000 m² de systèmes collectifs et 6 000 m² de capteurs non-vitrés pour piscines. Seules les applications collectives sont en augmentation, grâce au fonds chaleur renouvelable et une volonté de plus en plus affirmée des bailleurs publics d'intégrer ces technologies dans le logement social. Le secteur résidentiel bénéficie d'un crédit d'impôt mais celui-ci est en baisse alors que certaines régions françaises n'accordent plus d'aides financières aux particuliers. Le niveau de prix pratiqués par certains professionnels est un frein au développement, le système d'aides ne poussant pas les installateurs à diminuer leurs tarifs, le montant de l'incitation étant fonction du prix du matériel facturé. La France est très en dessous de la moyenne européenne de 0,072 m² par habitant en 2010. La marge de progression reste donc encore très importante.

¹¹⁷ Téléchargeable à l'adresse suivante :

http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/0825_plan_d_action_national_ENRversion_finale.pdf

¹¹⁸ Téléchargeable à l'adresse suivante :

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:fr:PDF>

Comme dans les autres secteurs des renouvelables, des efforts restent à faire pour inculquer le “réflexe solaire” lorsqu’un système de chauffage doit être changé. Les efforts de formation des installateurs, des architectes et des bailleurs doivent aussi être poursuivis. Le succès dépendra aussi de la capacité à diminuer les coûts de production et à mettre sur le marché des systèmes plus faciles à installer et mieux intégrés dans l’architecture. Les passerelles avec le secteur de la construction doivent être développées.

Géothermie

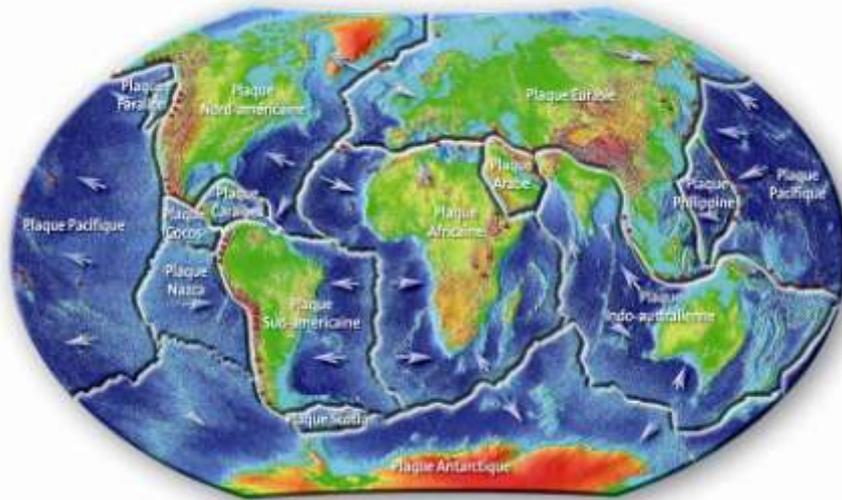
✓ *Dans le monde*

Le flux géothermique moyen est généralement beaucoup trop faible (quelques centaines de KW par Km²) pour être utilisé directement. Par contre, la croûte terrestre a l’immense avantage de stocker la chaleur en abondance. La puissance géothermique de la Terre atteint 30 milliards de kilowatts, et en termes de stock, les réserves en calories des deux premiers kilomètres de la lithosphère sont plusieurs milliers de fois supérieures à celles des combustibles fossiles. On peut dès lors utiliser ce stock thermique et non plus seulement le flux, et ce pratiquement en tout point du globe. L’énergie géothermique consiste à exploiter, selon différentes modalités, la chaleur sensible de masses rocheuses par l’intermédiaire d’une circulation d’eau à l’état liquide ou de vapeur.

Selon les régions, le gradient géothermique varie considérablement : de quelques degrés à quelques dizaines de degrés par cent mètres ; de même, le flux de chaleur varie de quelques dizaines à quelques centaines de milliwatts par mètre carré. Reste que l’exploitation de ces ressources ne présente d’intérêt économique que dans des situations particulières, expliquant en partie la part modeste de la géothermie dans le bilan énergétique mondial (moins de un pour cent) : près de 11 000 MW électriques installés en 2010 et deux fois plus de mégawatts thermiques pour usage direct de la chaleur.

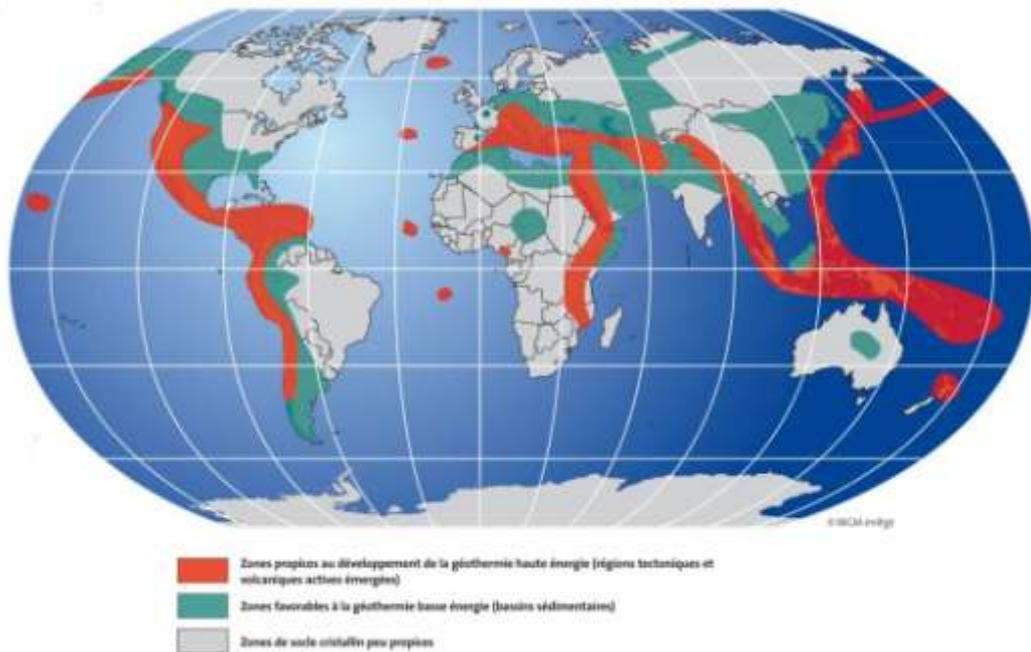
L’industrie géothermique peut exploiter directement la chaleur du fluide, pour des usages thermiques, principalement le chauffage ou la production d’eau chaude sanitaire ou industrielle. Mais elle peut aussi la convertir en électricité. Ce qui n’est rentable économiquement que si la température du fluide géothermal est suffisamment élevée. La limite entre géothermie basse énergie (production de chaleur) et géothermie haute énergie (production d’électricité) est arbitrairement fixée à 150 °C. Or - c’est notamment le cas dans ces zones actives de frontières de plaques - il existe des sites dans lesquels une grande quantité d’énergie est dissipée grâce à une circulation hydrothermale le long de failles ou du fait de la présence d’une chambre magmatique superficielle. Dans ces sites géothermiques – souvent volcaniques - de « haute température » (dits aussi de « haute enthalpie »), on exploite des systèmes convectifs ; les flux peuvent alors dépasser le MW par Km². **L’essentiel du potentiel de géothermie haute température suit ainsi les grandes lignes de fracture ou de rencontre des plaques tectoniques**: ceinture de feu du pacifique, Antilles, Italie, Rift africain. A noter que le Japon qui a 130 volcans n’avait, avant Fukushima, que peu développé la géothermie pour sa production d’électricité.

Figure 63 : Géographie des plaques tectoniques dans le monde



Source : BRGM

Figure 64 : Géographie des potentiels géothermiques dans le monde



Source : BRGM

On dénombre aujourd'hui un peu plus de 350 installations géothermiques haute et moyenne énergie dans le monde. La puissance de ces centrales électriques totalise en 2007 **10 GW** soit **0,3% de la puissance installée**. Les principaux pays producteurs se situent sur la périphérie du Pacifique : six dans les Amériques pour 3 921 MW, cinq en Asie pour 3 291 MW, deux en Océanie pour 441 MW. L'Europe compte six pays producteurs, pour une puissance de 1 123 MW, et deux seulement en Afrique pour 134 MW.

Avec 202 unités réparties sur 22 champs géothermiques (Californie, Nevada, Utah et Hawaii), **les Etats-Unis arrivent en tête des pays producteurs** avec une capacité installée de 2 687 MW et une production de 15 TWh/a, qui ne satisfait que 0,4% des besoins. Viennent ensuite les Philippines (1 931 MW), le Mexique (953), l'Indonésie (796), l'Italie (790), le Japon (547), la Nouvelle-Zélande (437), l'Islande (200), le Salvador (161), et le Costa Rica (160).

Figure 65 : Principaux pays producteurs d'électricité géothermique (puissance installée en 2000)



Source : ADEME/BRGM

En comparaison avec les autres renouvelables, la géothermie présente l'avantage d'une production continue, en base, sans influences des aléas climatiques ou solaires. Comme source d'électricité, elle devrait poursuivre son essor dans le monde, les investissements se tournant vers les pays en croissance économique dotés de ressources : Philippines, Indonésie, Amérique latine, Afrique de l'Est, et sans doute demain le Japon...

✓ **En Europe : un marché des pompes à chaleur géothermiques en plein développement**

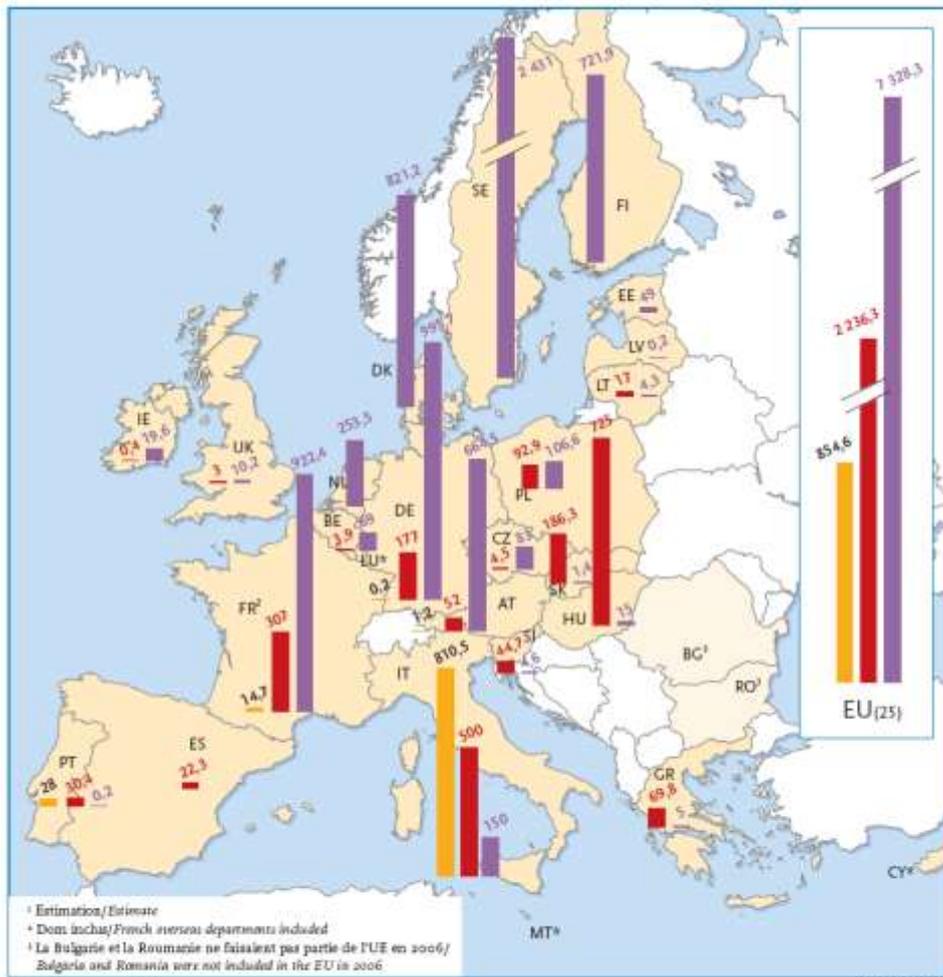
La géothermie en Europe, comme les autres marchés des renouvelables, est tirée par l'Allemagne du fait des politiques volontaristes nationales. L'Italie, sans doute le pays le mieux doté en termes de qualité de ses ressources, n'a pas connu ces dernières années de développement particulier, en dehors de la consolidation du gisement de Larderello. La Suède (qui maintient sa position de leader) et la Suisse ont marqué des points, grâce à des dispositifs efficaces, dans le domaine des pompes à chaleur, le secteur en plus fort développement.

Tableau 18 : Nombre, puissance installée et énergie renouvelable capturée par les PACg, pour les quatre premiers pays européens

	2009			2010**		
	Nombre/ Number	Puissance/ Capacity (MWh)	Énergie renouvelable capturée/Renewable energy captured (ktoe)	Nombre/ Number	Puissance/ Capacity (MWh)	Énergie renouvelable capturée/Renewable energy captured (ktoe)
Sweden	348 636	3 702,0	784,8	378 311	4 005,0	867,8
Germany	179 634	2 250,5	293,5	205 150	2 570,1	335,2
Finland	52 355	967,8	194,2	60 246	1 113,0	223,3
France	139 688	1 536,6	200,4	151 938	1 671,3	218,0

Figure 66 : Capacité cumulée en énergie géothermique en UE

CUMULATED CAPACITY OF GEOTHERMAL ENERGY IN THE EU COUNTRIES¹



LÉGENDE/KEY

- Puissance électrique installée dans les pays de l'UE à fin 2006 (en MWe) / Cumulated installed electric capacity in the E.U. countries at the end of 2006 (in MWe).
- Usage direct de la chaleur géothermique (hors PACG) dans les pays de l'UE à fin 2006 (en MWh) / Installed capacity for direct use (GHPs excepted) of geothermal heat in the E.U. countries at the end of 2006 (in MWh).
- Puissance installée des PACG dans les pays de l'UE à fin 2006 (en MWh) / Cumulated installed capacity of the geothermal heat pumps in the E.U. countries at the end of 2006 (in MWh).

En matière de PACg (pompes à chaleur au gaz), la France est restée en 2010 le troisième marché européen malgré un recul des installations de plus de 20% par an pendant deux années consécutives. Le nombre d'unités vendues s'est réduit à environ 12 000 en 2010 contre près de 22 000 en 2008 avec la particularité d'un meilleur développement des PAC hydrothermiques grâce à la garantie Aquapac, qui prend en charge la couverture du risque géologique lié à l'utilisation des nappes d'eau souterraine. La crise économique en serait la cause, beaucoup de ménages reportant leurs investissements. La mesure de maintien du crédit d'impôt pour les PACg incluant les coûts des sondes géothermiques n'a pas enrayer la chute du marché, sans doute affecté indirectement par la baisse du crédit d'impôt sur les PAC aérothermiques qui a entraîné une division par deux des ventes, la filière française des PAC souffrant d'un problème d'image. Jusqu'en 2008, la forte croissance générée par le crédit d'impôt n'a pas été accompagnée : on pâtit du manque de formation des installateurs et

d'incitations au recours à un installateur qualifié (Qualipac). Une meilleure information et communication est à promouvoir, comme en Autriche.

Tableau 19 : Principaux marchés de la PACg dans les pays de l'UE (en nombre d'unités installées) en 2009 et 2010

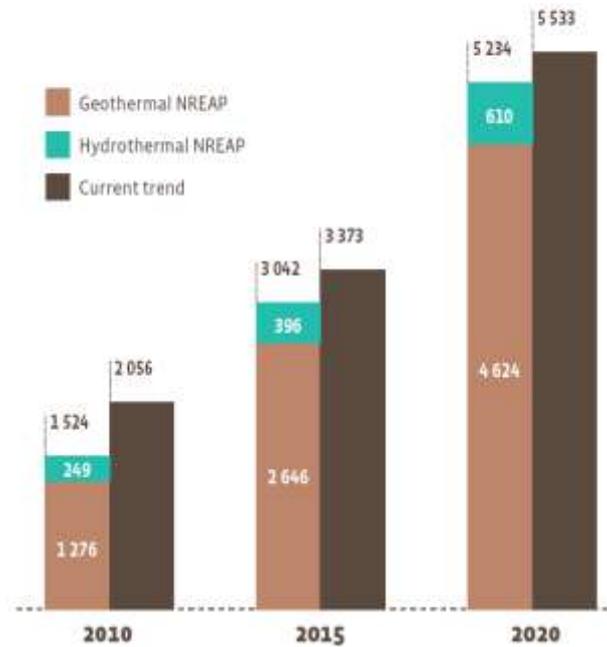
	2009	2010**
Sweden	27 544	31 954
Germany	29 371	25 516
France	15 507	12 250
Finland	6 137	8 091
Austria	7 212	6 516
Netherlands	5 309	4 690
Poland	4 200	4 120
United Kingdom	3 980	4 060
Czech Rep.	1 959	2 224
Belgium	2 336	1 249
Hungary	259	1 000
Estonia	682	985
Italy	n.a.	357
Lithuania	413	356
Ireland	1 321	224
Slovakia	n.a.	155
Slovenia	710	99
Total	106 940	103 846

Source : EurObserver, 2011

Néanmoins, au niveau européen dans son ensemble, il apparaît que les objectifs visés par les plans d'action nationaux pour 2020 puissent être dépassés si les taux de croissance observés ces dernières années sont maintenus.

Figure 67 : Tendance actuelle de l'énergie renouvelable provenant des PACg par rapport à la feuille de route des Plans d'action nationaux énergie renouvelable (en ktep)

Tendance actuelle de l'énergie renouvelable provenant des PACg par rapport à la feuille de route des Plans d'action nationaux énergie renouvelable (en ktep)
 Current renewable energy trend from heat pumps compared to the NREAP (National Renewable Energy Action Plan) roadmaps (in ktoe)

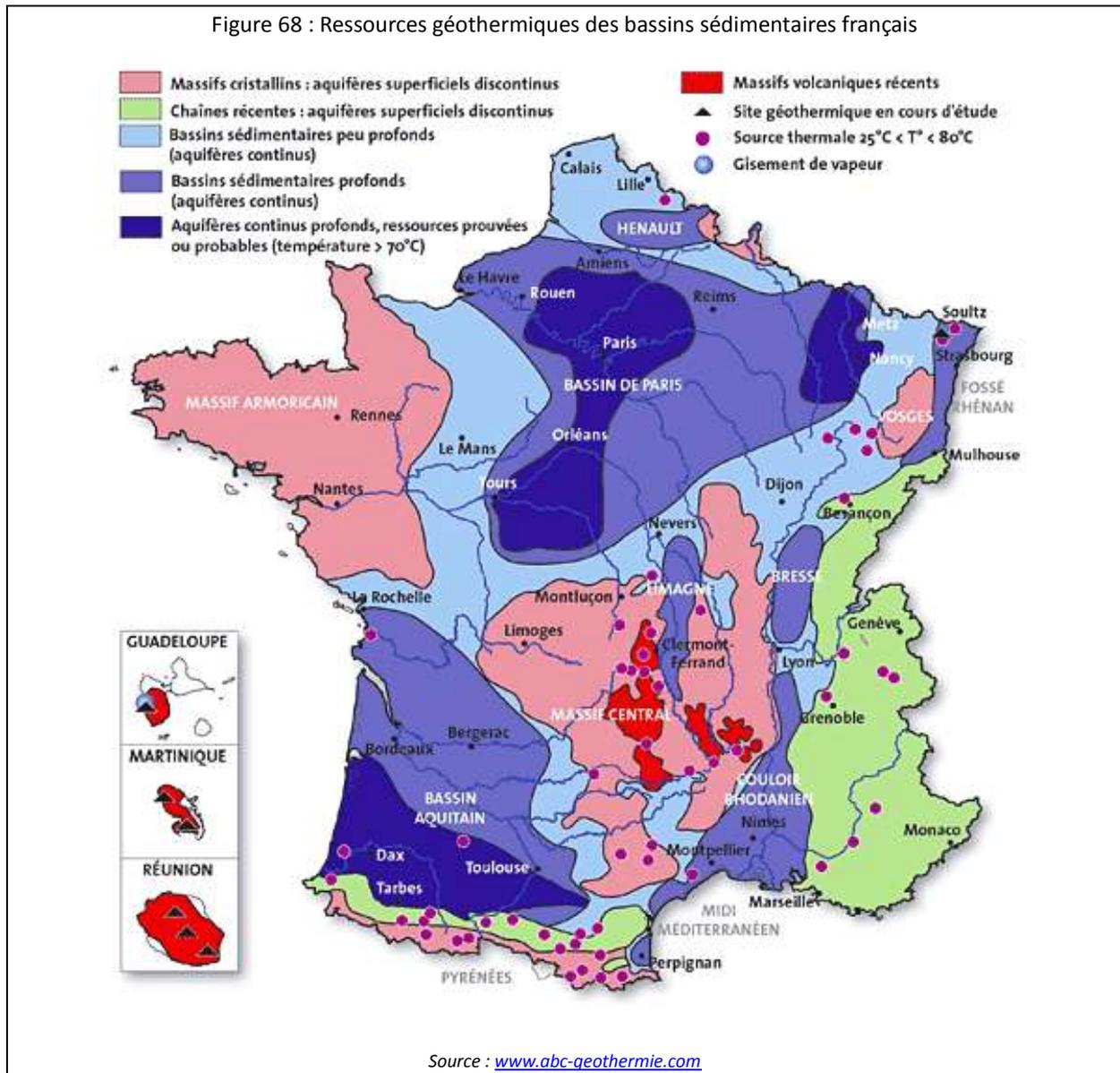


Source : EurObserv'er, 2011

✓ **En France**

Compte tenu des caractéristiques géologiques de la France métropolitaine, les gisements les plus répandus sont de type « basse énergie ». Ils se développent au sein de *bassins sédimentaires*, dont certaines strates sont perméables et gorgées d'eau dont la température dépend de la profondeur et du gradient géothermique. Les données rendues publiques par le BRGM permettent de préciser le débit et la température prévisibles pour les diverses nappes, ainsi que la profondeur des forages à réaliser.

Figure 68 : Ressources géothermiques des bassins sédimentaires français



Dans le Bassin parisien, les nappes contenues dans les formations géologiques de l'Albien, du Lusitanien, du Dogger et du Trias sont les meilleures. Les plus superficielles participent au chauffage d'ensembles d'habitations ou de piscines, l'appoint étant fourni soit par des pompes à chaleur, comme à la Maison de la Radio, elles sont aujourd'hui exploitées même pour l'habitat individuel. La nappe du Dogger est sollicitée pour le chauffage d'une quarantaine d'installations en fonctionnement depuis les années 70-80, contribuant ainsi aux besoins de près de 200 000 équivalents-logements. Des gisements favorables sont également connus dans le bassin Aquitain, dans la vallée de la Saône et du Rhône, en Alsace et en Limagne. Les réserves géothermiques françaises sont telles que leur exploitation suffirait à couvrir la quasi-totalité des besoins pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, soit d'économiser 40 millions de tep par an.

Un second type de gisement, moins fréquent mais plus spectaculaire caractérise les *roches fracturées* : l'eau s'infiltré, se réchauffe en profondeur et remonte vers la surface en donnant des sources thermales. Les calories peuvent alors être extraites en surface, ce qui s'est fait depuis l'époque romaine et même avant. La production peut être améliorée par la réalisation de forages permettant l'utilisation directe de la chaleur ou sa conversion thermodynamique en électricité. Bien d'autres

installations que celles de Chaudes-Aigues, de Plombières, de Dax ou de La Bourboule pourraient être mises en place pour exploiter ces systèmes géothermiques convectifs.

Cette possibilité d'exploiter la géothermie pour la production d'électricité existe dans les *régions volcaniques*, comme c'est le cas aux Antilles, à la Réunion et dans le Massif central, mais elle n'a été prouvée à ce jour qu'à la Guadeloupe où 15 MWe sont installés.

Le développement des techniques de réinjection et de stimulation des puits, ont permis de développer un nouveau type de géothermie, mettant en production des roches chaudes profondes. Les formations géologiques profondes n'étant souvent *ni fissurées ni poreuses* il est nécessaire de les fracturer artificiellement, pour injecter de l'eau que l'on récupère après circulation au contact des roches chaudes. Cette forme d'exploitation trouve ses premiers débouchés dans les zones à gradient élevé comme en bordure du fossé rhénan, à Soultz, où un projet européen a donné les résultats prometteurs. Cette première mondiale a permis la construction d'un pilote de production à fluide binaire de quelques MWe comprenant trois forages à 5 000 m.

Si le dispositif confirme ses potentialités, le calcul montre que la mise en exploitation géothermique de 3% de la surface de l'Alsace sur un kilomètre de hauteur (entre 4,5 et 5,5 km de profondeur) pourrait assurer une production électrique équivalente à celle d'une dizaine de tranches nucléaires. Des roches chaudes fracturées se retrouvent aussi dans le Massif central et le Couloir rhodanien, et sur de vastes étendues en Europe et dans le monde. Il s'agit d'une énergie propre et locale, aujourd'hui chère et dont l'économie est conditionnée par la baisse des coûts des forages.

✓ *Quel avenir pour la géothermie ?*

Nous sommes loin d'avoir un niveau de connaissances suffisant pour fixer les limites des développements possibles, que ce soit en termes de connaissances géologiques des ressources reposant sur des approches complexes impliquant de nombreuses disciplines des sciences de la terre, ou en matière d'innovations technologiques propres concernant ces systèmes de production. C'est en particulier dû au manque d'opérateurs industriels spécialisés (à la différence d'autres filières renouvelables, solaires ou éoliennes par exemple qui disposent de lobbies industriels propres). Mais **il est certain que le potentiel de développement est immense, plus encore dans des zones géodynamiques les plus actives, justement celles qui mettent en danger le nucléaire**. Dans un contexte dans lequel les événements tragiques nous amènent à remettre en cause nos choix antérieurs, il est temps de considérer l'énergie de la planète, non seulement comme une menace, mais aussi comme une opportunité dont nous sommes encore très loin d'avoir la capacité de mesurer les limites, à la différences des énergies sur lesquelles nous avons basé jusqu'à ce jour l'essentiel de notre développement.

Les différentes formes d'énergie géothermique connaîtront des développements variés selon les régions. En France, les recherches et les inventaires réalisés à ce jour montrent que c'est dans le domaine de la production de chaleur pour l'habitat et le tertiaire que le plus d'énergie peut être produit, au point de répondre à la quasi-totalité des besoins. Dans de nombreux pays du monde, en Amérique latine, en Asie du Sud-Est et en Afrique de l'Est en particulier, c'est par contre la production d'électricité qui est le plus à même de contribuer de manière significative au bilan énergétique.

Biomasse – biogaz

✓ Dans le monde

L'utilisation énergétique de la biomasse recouvre tous les usages, thermiques directs, production de carburants et production d'électricité à partir de matière première biologique, qu'il s'agisse du bois, de déchets organiques ou de productions végétales spécifiques. Le principal problème posé par le développement de l'utilisation de la biomasse n'est pas le caractère renouvelable de la ressource (il s'agit en fin de compte d'une forme de capture et de stockage de l'énergie solaire) mais plutôt la compétition de cette exploitation avec l'usage alimentaire des produits agricoles, qu'il s'agisse d'un usage direct ou indirect (alimentation animale). Cette question se pose notamment dans les pays en développement à forte pression démographique sur les sols, pour lesquels la production agricole traditionnelle peut apparaître moins rémunératrice qu'une production agro-industrielle à des fins énergétiques. En outre, la production intensive de biomasse à des fins énergétiques peu poser des problèmes environnementaux accrus (du fait de la pollution par épandages d'intrants ou des risques pour la biodiversité liés à l'utilisation de variétés OGM) relativement à une agriculture vivrière.

Pour simplifier, les voies de la valorisation énergétique de la biomasse sont les suivantes : le bois énergie domestique, qui constitue la forme d'exploitation énergétique la plus répandue dans le monde (usage direct du bois ou par le biais de charbon de bois) ; le bois énergie pour le collectif/tertiaire/industrie, pour la production électrique ou la production combinée (cogénération) ; les biocarburants ; le biogaz ; et les déchets renouvelables d'origine agricole, agro-industrielle ou domestique .

Selon les pays, leur degré de développement ou leur situation climatique, les usages de ces divers types de ressources énergétiques peuvent varier considérablement. Parmi ces divers types d'usages de la biomasse, seuls les biocarburants font aujourd'hui l'objet d'un véritable marché international, avec des quantités significatives de substances exportées (ex. Brésil) ou importées (ex. Europe).

✓ En Europe

Avec une consommation totale de 13,8 Mtep en 2010, le taux d'incorporation des biocarburants dans les carburants pour les transports dans l'Union européenne serait inférieur à 5%, un peu moins que l'objectif de la directive sur les biocarburants de 2003 qui visait un taux de 5,75 % pour 2010. Cet objectif n'aura été rempli que par 7 pays sur 27, à savoir la Suède, l'Autriche, la France, l'Allemagne, la Pologne, le Portugal et la Slovaquie. Ces trois derniers pays ont atteint leur objectif la dernière année, tandis que les quatre premiers ont devancé leurs engagements européens depuis 2008. Il convient de préciser que l'objectif des 5,75 % reste valable jusqu'au 1^{er} janvier 2012.

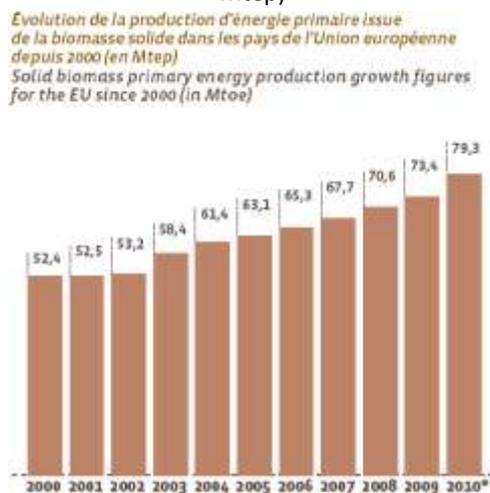
Les pays ont donc une année de plus pour répondre aux exigences de la directive. Après cette date, l'objectif de la nouvelle directive sur les énergies renouvelables vise une part de 10 % pour 2020.

Tableau 20 : Production d'énergie primaire à partir de biomasse solide de l'UE en 2009 et 2010 (en Mtep)

	2009	2010*
Germany	11,217	12,230
France**	9,368	10,481
Sweden	8,621	9,202
Finland	6,473	7,680
Poland	5,190	5,865
Spain	4,494	4,751
Austria	4,097	4,529

Source : EurObserver, 2011

Figure 69 : Evolution de la production d'énergie primaire issue de la biomasse solide de l'UE depuis 2000 (en Mtep)

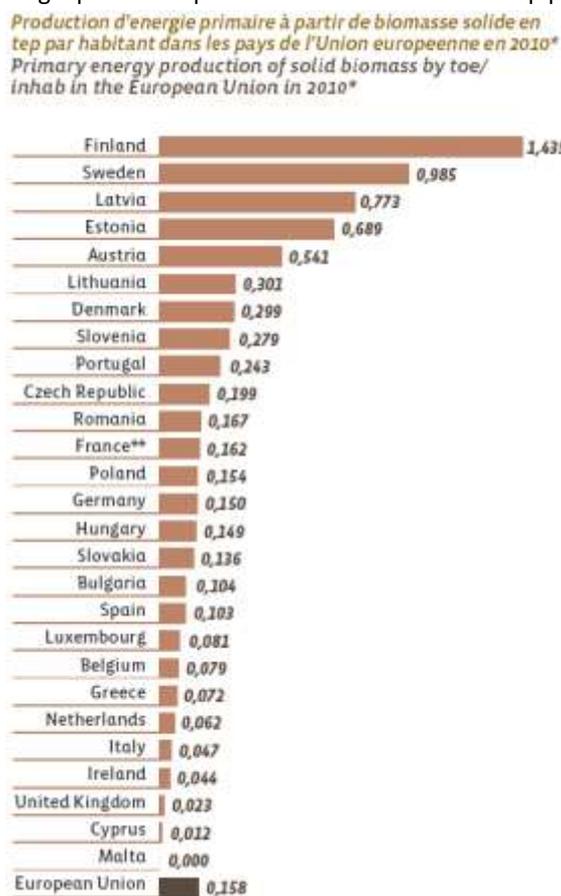


Source : EurObserv'er, 2011

Le graphique suivant donne les niveaux de production d'énergie primaire à partir de biomasse solide en UE en 2010. Les pays les plus avancés sont les pays nordiques : Finlande, Suède, Lettonie et Estonie.

La France arrive en douzième position, avec une production de 0.162 tep/habitant en 2010.

Figure 70 : Production d'énergie primaire à partir de biomasse solide en tep par habitant en UE en 2010



Source : EurObserv'er, 2011

Les graphiques qui suivent décrivent l'utilisation plus spécifique de la biomasse pour les biocarburants. La France et l'Allemagne sont les premiers producteurs et consommateurs parmi l'ensemble des pays européens. L'Espagne et l'Italie arrivent respectivement en troisième et quatrième position.

Tableau 21 : Consommation de biocarburants destinés au transport pour quelques pays de l'UE en 2010 (en tep)

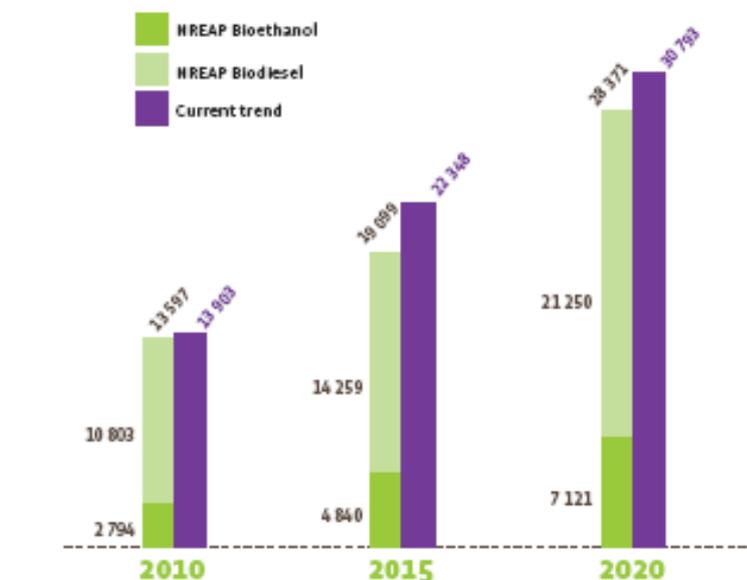
Consommation de biocarburants destinés au transport dans l'Union européenne en 2010 (en tep)*
Biofuel consumption for transport in the European Union in 2010 (in toe)*

Pays/ Country	Bioéthanol/ Bioethanol	Biodiesel/ Biodiesel	Autres**/ Others**	Consommation totale/ Total consumption
Germany	746 776	2 281 791	53 908	3 082 475
France	490 112	2 138 627	-	2 628 739
Spain	233 179	1 192 627	-	1 425 807
Italy	139 940	1 254 013	-	1 393 953
United Kingdom	316 495	823 660	-	1 140 155

Source : EurObserv'ER, 2011

Figure 71 : Tendances actuelles de la consommation des biocarburants bioéthanol et biodiesel pour le transport par rapport à la feuille de route des Plans d'action nationaux énergies renouvelables (en ktep)

Tendance actuelle de la consommation des biocarburants bioéthanol et biodiesel pour le transport par rapport à la feuille de route des Plans d'action nationaux énergies renouvelables (en ktep)/Comparison of the current biofuel consumption for transport trend against the NREAP (National Renewable Energy Action Plan) roadmaps (in ktoe)



Source: EurObserv'ER 2011.

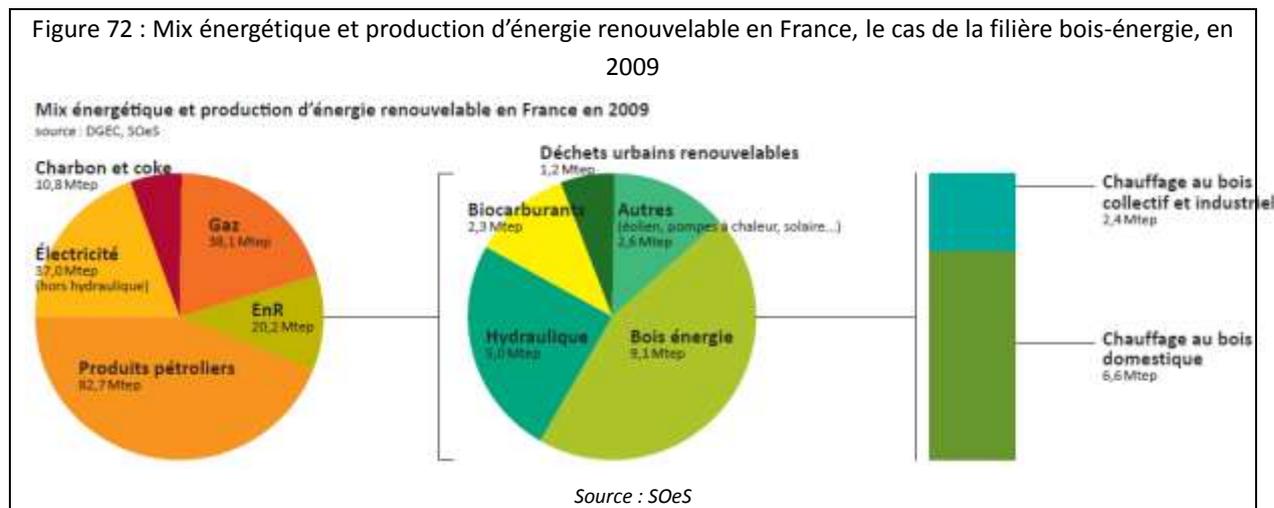
Source : EurObserv'ER, 2011

✓ **En France**

La biomasse est la première source d'énergie renouvelable en France¹¹⁹. Le bois énergie représente à lui seul 46% des énergies renouvelables produites en France en 2008. Si on y ajoute les biocarburants (11%), les déchets urbains renouvelables (6%), le biogaz et les résidus de récoltes, la biomasse

¹¹⁹ Source : http://www.enr.fr/docs/2010151515_BIO02BiomasseFrancemai2010.pdf

(chaleur, électricité, carburants) est à l'origine de plus de 63% de l'énergie produite à partir de sources renouvelables.



Les voies de la valorisation énergétique de la biomasse sont les suivantes¹²⁰ : le bois énergie domestique (6,6Mtep) ; le bois énergie pour le collectif/tertiaire/industrie (1,6Mtep) ; les biocarburants (2,1Mtep) ; les déchets renouvelables (1,2Mtep) et le biogaz (0,28Mtep).

La France (départements d'Outre-mer non inclus) a produit en 2010 plus de 10 Mtep d'énergie primaire issue de biomasse solide, soit une croissance annuelle de 12 %. Le fonds chaleur (1,2 milliard d'euros de dotation) soutient les projets de chaufferies-bois de biogaz et de réseaux de chaleur. Plus de 500 installations ont pu en bénéficier en trois ans, pour un montant total d'aides de 612,5 M€ et une production de 789,7 ktep/an de chaleur renouvelable, dont 649,5 ktep/an issus du bois. Pour la production d'électricité, la Commission de régulation de l'énergie (CRE) a lancé un système d'appel d'offres, pour les centrales-biomasse de grosse puissance fonctionnant en cogénération. Le papetier Smurfit Kappa à Biganos (Landes) a construit en 2010 la plus grosse centrale de France (140MWth et 69,5MWe) ; 32 projets sont en préparation ou en construction, et 15 projets supplémentaires, totalisant 200MW pour un investissement total de 1,4 milliard d'euros ont été retenus en 2011. Un système de tarif d'achat pour les centrales allant jusqu'à 12 MW a en outre été instauré, avec un tarif de base (43,4 euros/MWh en 2011), et une prime d'efficacité énergétique pour les installations supérieures à 5 MW. Ce qui ne favorise pas la mise en place de petites cogénérations (moins de 5 MWe), plus écologiques (collecte de proximité), à l'inverse du système allemand qui privilégie les installations de moins de 5 MW.

Le principal gisement de biogaz provient des décharges de déchets banaux. Sur 300 sites français, 200 captent le biogaz mais seulement 65 le valorisent ; ce gisement reste largement sous-exploité (526,2 ktep en 2009). 74 stations d'épuration urbaines et 90 stations industrielles méthanisent les boues pour produire de la chaleur mais peu d'électricité et pas plus de 20 installations agricoles fonctionnent. Au total, 846,4 GWh d'électricité sont produits à partir du biogaz, ce qui est très peu comparé à l'Allemagne ou même au Royaume-Uni. Le tarif faible d'achat est en cause : au tarif de base (de 7,8 c€ à 9,3 c€/kWh) s'ajoute une prime de méthanisation de 2 c€/kWh et une prime à

¹²⁰ Source : SoeS, ADEME

l'efficacité énergétique comprise entre 0 et 3,1 c€/kWh. La loi Grenelle I, dans son article 31, a fixé un objectif de 30 % d'exploitations agricoles "à faible dépendance énergétique" d'ici à 2013. Pour atteindre cet objectif, un Plan de performance énergétique des exploitations agricoles (PPE) a permis de soutenir 82 projets de méthanisation agricole pour une puissance électrique de 23 MW.

La consommation française de biocarburants dans les transports devrait dépasser 2,5 Mtep en 2010 (2 139 ktep de biodiesel et 490 ktep de bioéthanol) en croissance de 7,2 %. Ce qui correspond à un taux d'incorporation de l'ordre de 6,3 %, contre 7 % prévu. Les biocarburants bénéficient également depuis 1992 d'une exonération partielle de la TIC (ancienne TIPP), en baisse régulière. Pour le bioéthanol et l'ETBE, elle est passée 18 c€ par litre en 2010, à 14 c€ en 2011. Pour l'EMVH (biodiesel) et le biogazole de synthèse, la défiscalisation est passée de 11 c€ par litre en 2010 à 8 c€ en 2011. Seuls les biocarburants issus d'unités agréées bénéficient de cette défiscalisation, dans la limite des quantités fixées. 29 unités de production de biodiesel, quatre unités de production d'ETBE et 23 unités de production de bioéthanol ont été agréées, conformément à la loi n° 2009- 967 du 3 août 2009 dont l'article 21 précise que « *la production en France des biocarburants est subordonnée à des critères de performances énergétiques et environnementales comprenant en particulier leurs effets sur les sols et la ressource en eau* ». La France n'a cependant pas encore transposé le système de certification européen permettant de contrôler la durabilité des biocarburants. Les études de l'ADEME montrent une réduction des GES de 71 % pour l'éthanol de canne à sucre, de 66 % pour la betterave, de 59 % pour l'EMVH de colza de 56 % pour le maïs, et de 49 % pour le blé.

Certains scénarios prospectifs énergétiques sont essentiellement basés sur la biomasse : c'est notamment le cas du scénario négaWatt 2011¹²¹ qui prône un recours très important à la biomasse pour la production de matériaux et d'énergie.

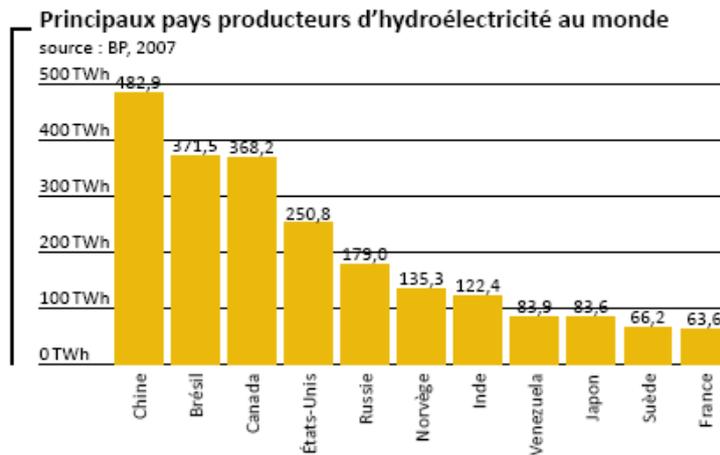
Hydroélectricité

✓ *Dans le monde*

L'énergie hydroélectrique est une des plus anciennes productions électriques, et bénéficie de ce fait d'une très grande maturité technologique. C'est aujourd'hui de très loin la première énergie renouvelable électrique, produisant près de 89 % de l'électricité renouvelable. C'est la troisième source de production mondiale d'électricité (à 16 %), derrière le charbon (40 %) et le gaz (19 %). Plus de 3 000 TWh sont produits annuellement et la puissance installée représente 20 % des capacités avec 715 000 MW. Dans le monde, une vingtaine de pays produisent plus d'un cinquième de leur électricité grâce à l'énergie de l'eau, une dizaine de pays, dont quatre en Europe (Norvège, Islande, Autriche et Suisse) plus de la moitié. Le déterminant est moins le relief que le climat, les pays producteurs bénéficient de nombreux fleuves et rivières à gros débit.

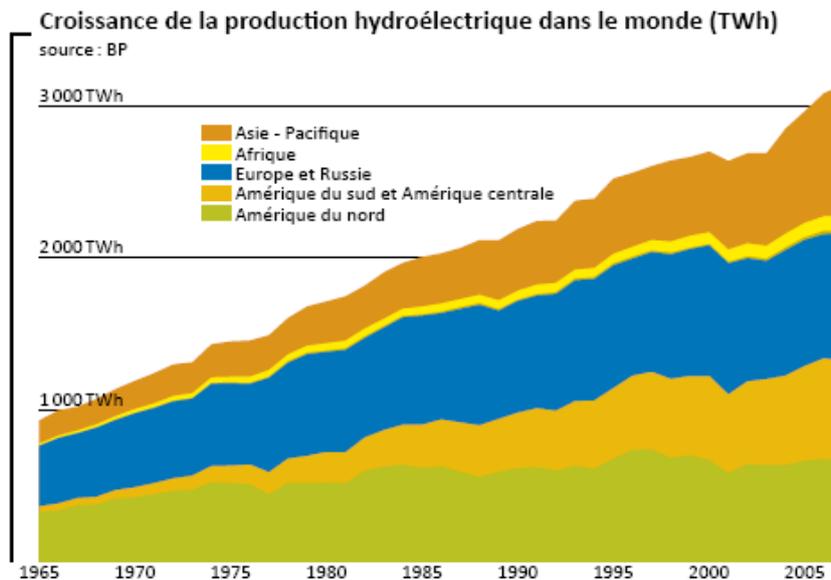
¹²¹ Cf. www.negawatt.org

Figure 73 : Principaux pays producteurs d'hydroélectricité au monde (2007)



Source : BP Review, 2007

Figure 74 : Croissance de la production d'hydroélectricité dans le monde entre 1965 et 2005 (TWh)



Source : BP Review, 2007

La production hydroélectrique est en croissance dans le monde, passant d'environ 1 000 TWh en 1965 à plus de 3 000 TWh aujourd'hui ; elle est particulièrement vigoureuse en Amérique du Sud ainsi qu'en Asie. Avec plus de 27 % de la production mondiale, l'Asie est le premier producteur d'hydroélectricité, devant l'Amérique du Nord. La croissance y est la plus forte, la production ayant doublé en 15 ans. Le potentiel de développement reste encore important, notamment en Afrique, en Amérique latine et en Asie.

✓ **L'hydroélectricité en France**

Deuxième forme de production derrière l'énergie nucléaire, l'hydroélectricité représente 12 % de la production électrique française. La production annuelle moyenne est de 69,3 TWh, avec des

variations liées aux précipitations. Ces variations sont relativement amples, avec une production annuelle parfois supérieure de 15 % à cette moyenne (en 2001 ou 1994 par exemple), parfois jusqu'à 30 % inférieure lors des années de très faible pluviométrie comme en 2005. L'hydroélectricité représente 20 % des capacités électriques françaises avec 23 500 MW.

En prenant en compte l'ensemble de l'énergie (chaleur, électricité, transport, etc.), l'hydroélectricité représente un peu moins d'un tiers des énergies renouvelables françaises, en deuxième position après l'énergie du bois.

Il s'agit cependant d'une énergie controversée, **les barrages perturbant les milieux dans lesquels ils sont construits**. Les populations locales peuvent ainsi subir des dommages collatéraux importants (cf. 4.2 L'eau : « [Le cycle de l'eau dénaturé ?](#) »).

Energies de la mer

✓ *Dans le monde, en Europe et en France*

Les énergies de la mer constituent un **potentiel immense** : le vent, les vagues, les courants, l'énergie thermique ou l'énergie osmotique. Elles sont encore peu exploitées mais suscitent beaucoup d'espoirs et de nombreux projets ont vu ou sont en train de voir le jour. Si le potentiel est immense, les ressources techniquement exploitables, tenant compte des contraintes technologiques, industrielles, administratives, environnementales sont plus réduites, comme l'a montré une récente étude de l'IFREMER¹²² sur laquelle se base ce chapitre. Les concertations nécessaires avec les autres usagers de la mer et du littoral réduisent encore ce potentiel « socio-économiquement » exploitable.

- *L'énergie éolienne en mer exploite l'énergie du vent soufflant sur les étendues marines, par des éoliennes produisant l'électricité exportée à terre par câbles sous-marins.*

Selon une étude de l'AIE (2000), le potentiel européen techniquement exploitable serait de 313 TWh/an pour les sites à moins de 20 km des côtes et moins de 20 m de profondeur. Les éoliennes flottantes ancrées sur le fond seraient libérées de cette limitation de profondeur et donneraient accès, en s'éloignant des côtes, à une ressource beaucoup plus importante.

- *L'énergie des courants (hydrolienne) serait plus prédictible et régulière.*

Selon la même étude, le potentiel mondial techniquement exploitable serait de 450 TWh/an, et celui de l'Europe de 15 à 35 TWh/an, pour 10 GW installés. Les grands courants marins (Gulf Stream, Kuroshio...) sont en effet une source potentielle importante.

Le potentiel français serait de 5 à 14 TWh/an soit entre 2,5 et 3,5 GW selon EDF. Les sites potentiels : détroits, caps, goulets... sont spécifiques et doivent permettre une augmentation des vitesses. Ils sont bien identifiés en France : Raz Blanchard, Fromveur, Raz de Sein, Héaux de Bréhat, Raz de Barfleur...

- *L'énergie marémotrice*

Le potentiel mondial est estimé à 380 TWh/an pour 160 GW par le Conseil Mondial de l'Énergie. Après la centrale de la Rance (240 MW) inaugurée en 1966, l'énergie marémotrice vit un renouveau

¹²² Les énergies renouvelables marines, Synthèse d'une étude prospective à l'horizon 2030, IFREMER, 2008. Téléchargeable à l'adresse suivante : http://www.ifremer.fr/institut/content/download/39242/536346/file/Ifremer_synthese-etude-prospective-EnRM.pdf

avec la construction de la centrale de Sihwa (260 MW) en Corée du Sud et l'étude du projet Garolim (500 MW), et la relance des études sur la Severn (8,6 GW) au Royaume-Uni, intégrant les concepts novateurs de lagons artificiels (centrales à multiples bassins).

○ *L'énergie des vagues (houlomoteur)*

La production houlomotrice représente un potentiel techniquement exploitable de 1 400 TWh/an, soit 10 % de la demande annuelle mondiale en électricité selon le Conseil Mondial de l'Énergie.

En France métropolitaine, le potentiel techniquement exploitable peut être estimé à 10 % de la ressource théorique (400 TWh/an), soit 40 TWh/an pour une puissance de 10 à 15 GW à installer principalement sur la façade atlantique. Un fort potentiel est en outre identifié à la Réunion, en Polynésie et Nouvelle-Calédonie ainsi que localement en Martinique et Guadeloupe.

○ *La biomasse marine*

Sur le million d'espèces d'algues existant dans le monde, une biodiversité répondant à une exceptionnelle adaptabilité, une richesse proportionnelle en molécules originales et en lipides reste à valoriser pour produire des algo-carburants : comparativement aux espèces oléagineuses terrestres, les micro-algues ont des caractéristiques favorables à la production d'acides gras. Les principaux atouts sont un rendement environ 10 fois supérieur en biomasse et l'absence de conflit avec l'eau douce et les terres agricoles. La production pourrait atteindre 20 000 à 60 000 litres d'huile par hectare par an contre 6 000 litres pour l'huile de palme, un des meilleurs rendements terrestres. Reste à identifier les surfaces mobilisables et travailler sur une diminution des coûts.

○ *L'énergie thermique des mers (ETM)*

L'ETM utilise la différence de température entre l'eau en profondeur (6 °C en seuil haut) et la surface (26 °C en seuil bas), soit au moins 20°C pour produire de l'électricité, mais également de l'eau douce, du froid pour la climatisation et des produits dérivés pour l'aquaculture suivant le type de processus (cycle ouvert ou cycle fermé). La ressource mondiale théorique serait de près de 80 000 TWh/an. Elle n'est exploitable que très partiellement et ponctuellement, en raison de l'absence de zones de consommation électrique, notamment dans la zone intertropicale Pacifique, la plus favorable. Un stockage via l'hydrogène est envisageable à terme.

○ *L'énergie des gradients de salinité (pression osmotique)*

Lorsqu'un fleuve se jette dans la mer, une grande quantité d'énergie est potentiellement libérée en raison de la différence de concentration en sel. Deux méthodes de récupération de cette énergie sont testées : la première basée sur l'osmose (en Norvège), la seconde sur l'électrodialyse inversée (aux Pays-Bas). En Norvège, le potentiel de cette technologie est estimé à 10 % des besoins annuels en énergie.

✓ *En France*

Nous avons vu qu'avec ses trois façades maritimes et ses territoires d'Outre-mer, la France est le second potentiel d'Europe pour l'hydrolien, l'éolien marin et l'énergie houlomotrice. De grandes étendues marines tropicales permettant en outre le déploiement de l'ETM.

L'industrie française a déjà une longue expérience des projets énergétiques d'exploitation en mer et dispose des compétences essentielles dans les équipements navals. A ce titre, plusieurs initiatives ont émergé ces dernières années, dont les pôles de compétitivité Mer Bretagne et Mer PACA à l'origine de projets innovants, illustrant l'engouement pour ces énergies renouvelables. Après le Grenelle de

l'environnement en 2007, le gouvernement français a lancé en 2009 le Grenelle de la mer, rassemblant l'ensemble des acteurs de l'économie maritime, pour **dresser un « plan pour la mer » intégrant** les énergies marines.

❖ Controverses concernant les énergies renouvelables

Les énergies renouvelables sont plutôt consensuelles dans leur principe, mais elles font l'objet de nombreux débats tant dans les modalités de leur mise en place que de leur efficacité. **La question du stockage¹²³ (cf. la partie consacrée au stockage ci-dessous) est centrale afin de répondre au problème de la disponibilité.** Cette difficulté, inhérente aux énergies renouvelables (solaire, éolienne ou autres), repose sur l'intermittence de ces énergies, qui entraîne de larges fluctuations d'énergie délivrée. Il est donc impératif d'inventer de nouvelles technologies de stockage de l'énergie pouvant s'adapter aux applications réseaux.

Le facteur limitant n'est pas – en général – l'acceptation par le public, mais se situe au niveau des choix économiques, tant en matière d'offre que de demande. En effet, les énergies renouvelables sont les seules pour lesquelles le client doit investir dans le système de production, une démarche à laquelle il n'a pas été préparé. A la différence des énergies conventionnelles où il suffit d'acheter la chaudière, ou le radiateur électrique, après un branchement au réseau et un abonnement, l'utilisateur de l'énergie renouvelable devra généralement investir dans le système de production : capteurs solaires, éolienne, forages géothermiques et pompes...

Certes, dans le domaine de la production d'électricité renouvelable, les politiques européennes ont induit – par l'introduction de tarifs d'achats avantageux - des développements locaux significatifs, notamment pour le solaire photovoltaïque et l'éolien. Mais, d'une certaine manière, ce succès a fini par inquiéter les autorités, du fait de son impact financier pour EDF, et la pérennité de ces politiques n'étant plus garantie, ces développements marquent aujourd'hui le pas. En outre, les contraintes financières pèsent sur les capacités d'emprunt des ménages.

Un paradoxe du développement des renouvelables concerne le domaine dans lequel les applications seraient le plus intéressantes : la production de chaleur pour le chauffage, le rafraîchissement ou la production d'eau chaude sanitaire. *Alors que cet ensemble dépasse 30% de la consommation d'énergie du pays, et de l'Europe en général, les mesures efficaces spécifiques font défaut, à la différence du secteur de l'électricité.* Il en résulte que la pénétration des énergies renouvelables reste faible dans l'habitat, y compris dans le neuf, là où des solutions géothermiques – avec ou sans pompe à chaleur selon que l'habitat est individuel ou collectif – ou solaires pourraient couvrir les besoins comme le montrent les exemples suédois, allemand ou suisse.

La difficulté rencontrée par le développement des renouvelables porte en fin de compte non sur des difficultés d'acceptation sociale, ni même fondamentalement de questions économiques, mais tient plutôt à des questions de :

- Financements adaptés aux besoins des consommateurs
- Offre technique et commerciale répondant à l'attente des usagers

¹²³ Pour une approche approfondie de la question, consulter : Jean-Marie TARASCON, « L'énergie : stockage électrochimique et développement durable », in *L'énergie : stockage électrochimique et développement durable*, Paris, Collège de France / Fayard (« Leçons inaugurales », n° 216), 2011, [En ligne], mis en ligne le 12 avril 2011, consulté le 24 avril 2012. URL : <http://lecons-cdf.revues.org/408>

- Formation des techniciens, tant pour optimiser les choix et les installations initiales que pour la maintenance des installations en place.
- Manque de fabrication française compétitive des composants (capteurs solaires, éoliennes, pompes à chaleur...) relativement aux équipements importés.

Plus fondamentalement, ces difficultés de pénétration des énergies renouvelables en France tiennent à des années de propagande gouvernementale, et de la part des grands opérateurs énergétiques qui ont inculqué à nos concitoyens la conviction que la seule option sérieuse pour notre pays était l'option nucléaire, et qu'elle répondrait avantageusement à la totalité des besoins, qu'il s'agisse des besoins industriels, domestiques, y compris pour le chauffage ou même les déplacements.

Les parts de marchés que peuvent prendre les énergies renouvelables sont aussi fort variables selon les sites. C'est un attrait pour l'imagination mais un handicap pour le développement conventionnel. Elles dépendent à la fois des ressources souvent diffuses, très variées mais aussi de la densité de population.

Le problème de l'intermittence des énergies de flux

Un des problèmes principaux de l'utilisation des énergies renouvelables dites de «flux » est qu'une caractéristique de ces flux est leur intermittence, ou leur forte variation en fonction du temps (sauf en ce qui concerne la géothermie).

Cette intermittence se manifeste sous deux formes :

- Des variations plus ou moins rapides, et d'amplitude limitée autour d'une valeur moyenne. Ce phénomène peut être dû à des passages nuageux pour le solaire ou des turbulences pour l'éolien. Si les sources sont suffisamment nombreuses et interconnectées à un réseau de taille suffisante, ce phénomène est peu gênant, car dans ce cas les variations sont décorrélées entre elles et l'effet global sur la puissance produite est faible.
- Des variations lentes mais de très grande amplitude, pouvant atteindre 100%, c'est le cas de l'alternance jour/nuit, de couverture nuageuse importante, ou des variations saisonnières pour l'énergie solaire. La disponibilité de ces énergies ne correspond donc pas toujours avec le besoin et il est nécessaire de prévoir dans ce cas un *stockage intermédiaire*. Ce problème est particulièrement crucial pour la production d'électricité, car celle-ci ne peut pas se stocker, la production devant toujours être égale, et de manière instantanée, à la consommation. Il faut alors stocker l'énergie sous une forme intermédiaire. Ces deux facteurs, disponibilité et stockage, sont le point faible des énergies de flux, et il convient de les détailler.

Disponibilité, productibilité

Toute source d'énergie électrique peut être rendue indisponible, soit pour des raisons de maintenance ou de dépannage, soit pour des raisons d'approvisionnement en énergie primaire. Ceci se traduit par un coefficient dit de « productibilité » et qui correspond à l'énergie produite sur un an divisée par la puissance installée. En d'autres termes, c'est le pourcentage de temps nécessaire pour produire cette énergie, en supposant que la centrale fonctionne à pleine puissance. Le tableau ci-après donne quelques chiffres, valables en moyenne pour la France.

Type d'énergie primaire	productibilité	Energie annuelle produite pour 1kW installé	Causes principales de l'indisponibilité
Nucléaire	75%	6600 kWh	Maintenance, rechargement du combustible
Eolien	24%	2100kWh	Variation du vent
Solaire photovoltaïque	12%	1000kWh	Alternance jour/nuit ; couverture nuageuse, variations saisonnières
Hydraulique, fil de l'eau	60%	5200 kWh	Variation du débit en fonction des saisons, ou de la pluviométrie
Turbine à Gaz	95%	8300 kWh	Maintenance

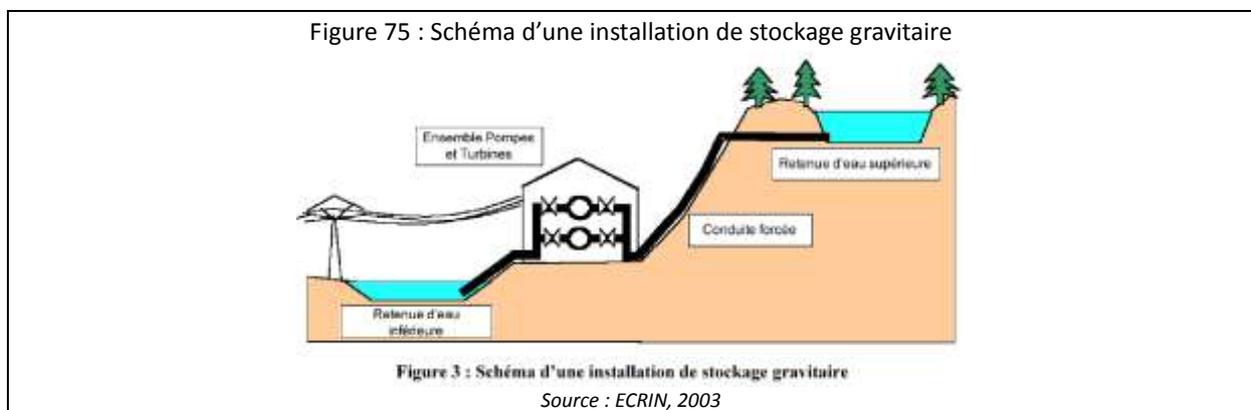
On retiendra de ce tableau que pour produire la même énergie qu'un kW installé en nucléaire, il faudra installer un peu plus de 3kW en éolien, ou presque 7 kW en panneaux solaires photovoltaïques.

Stockage d'énergie

Si les sources d'énergie primaires sont intermittentes, il est alors nécessaire de passer par une étape de stockage avec une autre forme d'énergie¹²⁴.

✓ **Stockage hydraulique gravitaire :**

C'est la forme la plus utilisée, soit sous forme de barrage simple qui stocke de l'eau en période pluvieuse ou de fonte des neiges et la restitue ensuite dans les autres périodes, ou simplement aux heures de pointe, soit sous forme d'installation de deux réservoirs reliés par des pompes-turbines, c'est-à-dire que l'eau est pompée du réservoir bas vers le réservoir haut lorsque la production d'énergie électrique est supérieure à la consommation, ou au contraire turbinée du réservoir haut vers le réservoir bas lorsque la production d'électricité est déficitaire. Le rendement charge décharge est relativement bon (de l'ordre de 70%), mais la quantité d'énergie stockée reste limitée.



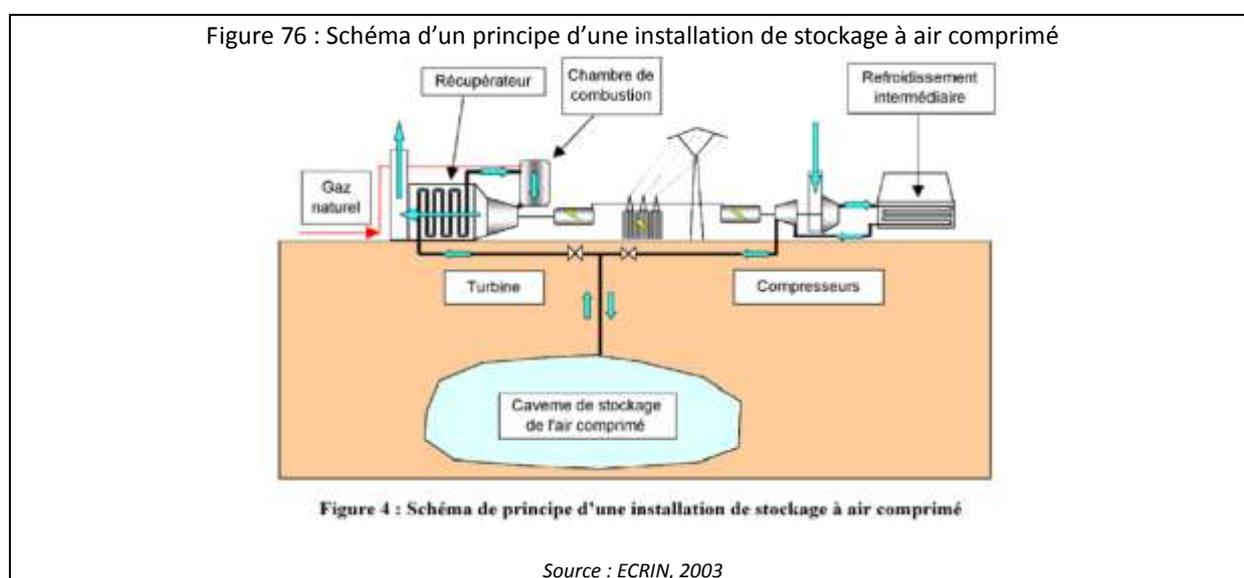
¹²⁴ Les figures sont extraites du rapport *Stocker l'électricité : oui, c'est indispensable et c'est possible. Pourquoi, où, comment ?*, Bernard MULTON - Jacques RUER, Club Energies alternatives, Publication ECRIN en contribution au débat national sur l'énergie, avril 2003, téléchargeable : <http://www.ecrin.asso.fr/energies/>

Quelques installations de ce type fonctionnent en France, la plus importante est la station de Grand'Maison, capable de fournir une puissance de 1850 MW. Mais malgré les dimensions impressionnantes (950 m de dénivelé, lac supérieur de 134 million de m³), il ne pourrait fournir qu'à peine l'équivalent de 10 jours de fonctionnement d'une centrale de 900MW, si le réservoir supérieur était utilisé presque complètement (ce qui n'est de fait pas possible). On voit donc que cette installation est bien dimensionnée pour des pointes journalières, mais en aucun cas ne pourrait faire du stockage saisonnier. Les autres installations françaises sont de taille nettement plus modeste (Montézic, Revin, Lac Noir...).

Ramenée à la consommation d'électricité, l'ensemble de ces installations ne permettraient pas d'alimenter la France pendant une nuit moyenne.

✓ **Stockage par air comprimé**

Le principe est le même que le stockage gravitaire, mais le fluide est simplement de l'air que l'on envoie dans un réservoir souterrain, identique aux réservoirs de gaz méthane déjà existants.



Ce système est utilisé en Allemagne, à Huntorf, dans une caverne de 310 000 m³ creusée dans une couche de sel. Le gaz est stocké sous 70 bars et permet de restituer une puissance de 290 MW pendant deux heures.

D'autres projets existent, car le nombre de sites potentiels est important, mais là encore, les temps de restitution sont de l'ordre de l'heure.

✓ **Stockage sous forme chimique**

Tout le monde connaît l'utilisation de batteries rechargeables, qui utilise la réversibilité d'une réaction de deux composés chimiques. Les grandes réalisations ne sont cependant pas légion compte tenu de leur coût et de durée de vie. La puissance stockée est de l'ordre de 40 MWh (Californie). EDF expérimente actuellement à la Réunion une batterie de 7MWh, fonctionnant avec le couple chimique NA/S et permettant de restituer une puissance de 1MW pendant sept heures. Le bilan reste à faire.

Les avancées techniques dans ce domaine sont faibles, la quantité d'énergie stockée reste limitée, même avec des matériaux très réactifs comme le lithium. Pour contourner cette difficulté on a créé

des batteries dites « à circulation d'électrolyte », ce qui permet de stocker plus d'énergie sans risque d'explosion (Une installation de 15MW, et une autonomie de huit heures). Dans tous les cas, le coût reste important.

✓ **Stockage sous forme thermique**

Dans ce processus, l'électricité est d'abord convertie en chaleur à très haute température (entre 100 et 1500 °C), cette chaleur est stockée dans des réfractaires, qui servent ensuite de source chaude pour fournir des gaz à haute température alimentant une turbine à gaz. Tous les matériaux nécessaires existent aujourd'hui, de même que les turbines. Un réservoir de 20 mètres de diamètre et 20 mètres de hauteur, permettrait de stocker de l'ordre de 1 000 MWh ce qui en fait un des meilleurs systèmes en termes d'énergie volumique stockée. Il n'y a pas de tel système opérationnel à ce jour compte tenu de son coût relativement élevé.

Le tableau suivant¹²⁵ résume les caractéristiques des systèmes décrits précédemment :

Tableau 22 : Principales caractéristiques des systèmes de stockage à grande échelle

Tableau 1 : Principales caractéristiques des systèmes de stockage à grande échelle

	Hydraulique	Air comprimé	Batteries	Batteries à circulation	Thermique
Forme d'énergie	gravitaire	air comprimé	chimique	chimique	chaleur
Densité d'énergie	1 kWh/m ³ pour une chute de 360 m	12 kWh par m ³ de caverne à 100 bars	Batterie au plomb : 33 kWh/t Batterie Li-ion : 100 kWh/t	33 kWh/m ³	200 kWh/m ³
Capacité réalisable	1000 – 100000 MWh	100 – 10000 MWh	0,1 – 10 MWh	10 – 100 MWh	1000 – 100000 MWh
Puissance réalisable	100 – 1000 MW	100 – 1000 MW	0,1 – 10 MW	1 – 10 MW	10 – 100 MW
Rendement électrique	65% - 80%	50% (avec l'apport de gaz naturel)	70%	70%	60%
Installations existantes	100 000 MWh 1000 MW	600 MWh 290 MW	40 MWh 10 MW	120 MWh 15 MW	-
Remarques	Sites avec retenues d'eau	Sites avec cavernes	Métaux lourds	Produits chimiques	À développer

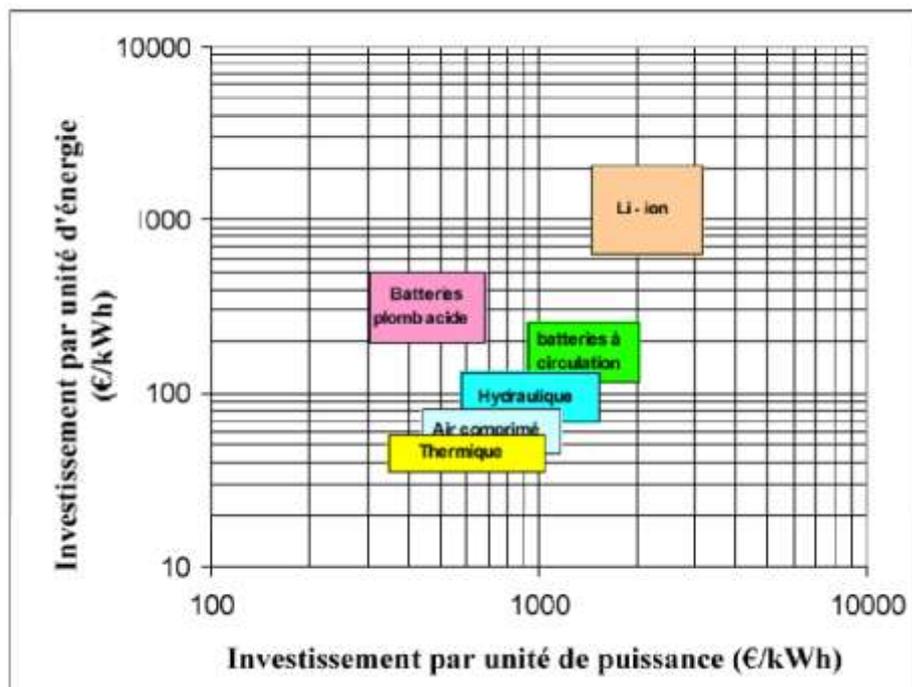
Source : ECRIN, 2003

Il est difficile de donner un coût de ces installations, car il dépend fortement de la capacité et de la puissance, le tableau¹²⁶ suivant donne quelques indications :

¹²⁵ Ibid, p. 17

¹²⁶ Ibid

Figure 77 : Coût des installations



Source : ECRIN, 2003

Quelques remarques peuvent être formulées :

- D'autres systèmes existent tels que les super-capacités qui stockent l'énergie directement sous forme électrique, ou les bobines supraconductrices dans lesquelles l'énergie est stockée sous forme de champ magnétique, mais ces systèmes sont dédiés pour des fortes puissances et des temps de restitution courts (inférieur ou de l'ordre de la seconde). Ils peuvent être utilisés sur le réseau pour le lissage de micro-coupures, ou pour accroître la stabilité, mais ce n'est pas le propos de ce papier.
- Certains papiers préconisent l'utilisation massive des batteries des véhicules électriques pour stocker l'énergie par exemple pour la nuit. Mais cette application reste peu crédible, car soit elle se ferait au détriment de l'autonomie du véhicule, soit elle exigerait un surdimensionnement de ces batteries ce qui grèverait encore plus le coût du véhicule électrique.

✓ **Stockage par fabrication d'un carburant**

Tous les moyens de stockage décrits ci-dessus conviennent pour palier des manques de production pendant quelques heures, mais aucun d'eux ne peut apporter de solutions pour des manques de production de quelques jours, et encore plus de quelques mois. Il manque deux ou trois ordres de grandeur et ces solutions ne peuvent donc pas être utilisées pour du stockage saisonnier. La seule voie pour stocker de grandes quantités d'énergie sous une forme stable, et pendant des temps relativement longs, (plusieurs mois) est celle qui consiste à fabriquer un carburant que l'on brûlera ensuite avec l'oxygène de l'air.

C'est déjà ce qui se fait avec la biomasse produite grâce au rayonnement solaire, stockée ensuite, puis brûlée lorsque l'on en a besoin. L'inconvénient majeur est que la densité d'énergie de ce combustible

reste faible et que les processus actuels mobilisent de larges surfaces agricoles. Mais le potentiel de développement de cette filière est important, par exemple par l'utilisation de micro-algues.

L'autre voie est l'utilisation du surplus d'énergie pour la fabrication d'hydrogène par voie d'électrolyse ou par voie thermo-chimique (par exemple gazéification de la biomasse). Des essais, en laboratoire, sont également en cours pour fabriquer l'hydrogène par des bio-organismes utilisant directement le rayonnement solaire, ou par photo-électrolyse directe de l'eau. Seules les deux premières voies sont aujourd'hui à un stade industriel, mais les rendements restent encore insuffisants pour que l'ensemble du cycle puisse être mis en œuvre.

L'hydrogène produit peut soit être utilisé sur place après stockage (par exemple dans des piles à combustibles pour produire de l'électricité au moment souhaité), soit être utilisé pour produire des carburants de synthèse à partir de composés carbonés. Une voie particulièrement intéressante semble être celle de la « méthanation » qui consiste à faire réagir l'hydrogène avec du gaz carbonique pour obtenir du méthane et de l'eau... et de la chaleur utilisable pour d'autres usages. Si l'hydrogène utilisé a été produit par voie renouvelable, le méthane obtenu est alors lui aussi renouvelable et sa combustion ne conduit pas à augmenter la teneur en CO₂ de l'atmosphère.

Notons que le stockage de grandes quantités d'hydrogène est difficile, il nécessite soit de très fortes pressions (200 bars), soit la liquéfaction, et ces deux opérations sont des grandes consommatrices d'énergie, d'où l'intérêt de passer par l'intermédiaire d'un combustible de synthèse.

Les avantages d'un recours aux énergies renouvelables dans le cadre d'une transition vers une économie écologique en France

Dans le cadre d'une transition vers une économie écologique, soulignons les intérêts à passer à un recours massif aux énergies renouvelables dans le mix énergétique français.

✓ *Enjeu de la lutte contre le changement climatique*

Chacune des énergies contribue aux émissions de gaz à effet de serre d'une part lors de la construction du matériel nécessaire pour la capter et/ou la transformer. Le tableau suivant est communément admis par la communauté scientifique :

Tableau 23 : Tableau des émissions de CO ₂ (en g/kWh électrique)		
Source	Emission	Remarque
Charbon	980	Des solutions existent pour capter le CO ₂ en fin de processus mais ces solutions d'une part diminuent le rendement et d'autre part coûtent relativement cher. De plus il n'existe pas de solutions de stockage du CO ₂ avérées.
Fuel	890	
Gaz naturel	860	
Cycle combiné gaz naturel	430	Cette solution impose l'utilisation simultanée de l'électricité et de la chaleur.
Photovoltaïque	60 à 150	Dépend du type de capteur utilisé.
Éolien	3 à 20	

Nucléaire	6	
Hydraulique	4	
Géothermie	3	

Ce tableau parle de lui-même en éliminant toutes les solutions ayant massivement recours aux combustibles fossiles. Pour répondre à cet enjeu *ne peuvent être gardées que des solutions à base d'énergies renouvelables ou de nucléaire*, avec éventuellement des solutions à base de combustibles fossiles, soit pour une utilisation marginale, soit de manière transitoire.

✓ **Enjeu des ressources et de minimisation de la pollution**

Parmi les solutions proposées il est possible de distinguer deux types de sources d'énergie :

- **des énergies de stocks** (charbon, fuel, gaz naturel, nucléaire) qui puisent dans un stock fini au niveau de la planète. Nous avons vu que pour le pétrole et le gaz naturel le problème de la rareté commence déjà à se poser, et pour le charbon et le nucléaire (hors filière rapide condamnée par ailleurs), ce problème se posera d'ici quelques décennies.
- **des énergies de flux** (solaire, éolien, hydraulique, géothermie). L'ensemble de ces flux trouve leur origine dans le rayonnement solaire ou terrestre, et sont donc inépuisables à échelle humaine. L'intensité énergétique de ces flux est globalement très supérieure à nos besoins, mais seule une partie est réellement exploitable. De plus, ces énergies de flux doivent être associées à un stockage – que ne permettent que quelques-unes d'entre elles (hydraulique et géothermie) - pour répondre au problème de la disponibilité.

Pour répondre à l'enjeu des ressources, nous voyons donc qu'il faut se tourner vers les énergies de flux, le nucléaire pouvant être utilisé comme solution transitoire pendant quelques décennies.

En ce qui concerne la pollution, les analyses de cycle de vie montrent que les solutions de type hydraulique, éolien, solaire thermique ou géothermique ne posent aucun problème, les solutions de type photovoltaïque imposant un recyclage organisé.

Par contre c'est un euphémisme que de dire que le nucléaire pose des problèmes de pollution. Comme chacun le sait le stockage des déchets radioactifs produits par cette filière n'est toujours pas résolu ni financièrement ni techniquement. Plus on avance dans cette filière de traitement des déchets nucléaires, plus on se rend compte des difficultés que pose la gestion de produits dangereux pendant des durées de plusieurs milliers, voire dizaines de milliers d'années. Si la gestion des déchets dits faiblement radioactifs peut trouver une solution technique dans du stockage pendant quelques centaines d'années, aucune solution entièrement satisfaisante n'existe réellement pour les déchets hautement radioactifs et à vie longue.

Le deuxième problème lié au nucléaire est le *risque de pollution accidentelle*. Les trois principaux accidents de fusion du cœur qui se sont produits dans les 40 dernières années ont montré, même si dans le cas de Three Miles Island (technologie identique à celle de la France) cette pollution restait confinée au bâtiment réacteur, que les conséquences en étaient des pollutions graves, une stérilisation de vastes territoires et une contamination radiologique importante d'une partie de la population. Ces trois accidents ont montré que la probabilité d'une fusion accidentelle de cœur

n'était pas négligeable. Il ne s'agit donc pas un événement hautement improbable, mais bien d'une réalité qu'il faut prendre compte sur les plans humain, financier, et écologique.

Il conviendra donc d'avoir une attitude très prudente vis-à-vis du nucléaire et de le remplacer dans les meilleurs délais par une autre source d'énergie, notamment dans les zones géodynamiques actives où la géothermie représente une alternative particulièrement intéressante et aujourd'hui paradoxalement peu explorée.

✓ **Enjeu de l'emploi**

C'est également un chapitre sur lequel il est difficile d'avoir des données chiffrées précises. Le nucléaire revendique 125 000 emplois directs et 410 000 emplois directs et indirects selon l'étude de PWC commandée par AREVA (05/2011).

Pour les énergies renouvelables, EurObserver fournit pour l'année 2009 les chiffres suivants :

Tableau 24 : Emplois directs et indirects dans le domaine des ENR		
	FRANCE	ALLEMAGNE
Eolien	20000	102000
Photovoltaïque	13200	64700
Solaire thermique	7000	13000
Géothermie et pompes à chaleur	17000	15000
biogaz	1400	22800
Biocarburants	10000	26000
Déchets/énergie	3700	6000
Biomasse solide	60000	79100
Petite hydraulique	2500	1600
TOTAL	135000	333000
Pour info. : Chiffre d'affaires généré dans ce secteur	12,85 Md €	36,65 Md€

Source : EurObserver

Compte tenu de la faible puissance concernée par les ENR, par rapport à celle actuellement existante dans le nucléaire, on voit en comparant les deux chiffres relatifs à ces énergies qu'il n'y a pas de craintes à avoir sur le nombre d'emplois qui va se créer si l'on mise sur le développement des ENR. En outre ne sont pas comptabilisés ici les chiffres des emplois créés par la recherche d'économies d'énergie dans les bâtiments. Dans l'ensemble, ces options (URE + ENR) représentent des solutions génératrices d'emplois locaux et qualifiés. La difficulté portant aujourd'hui sur le manque de formations adaptées et d'entreprises qualifiées.

Ajoutons à cela que même si les capteurs photoélectriques sont aujourd'hui majoritairement produits en Chine, il reste dans ce domaine beaucoup d'opportunités de développement. D'abord sur le capteur lui-même qui peut évoluer dans deux directions : soit des capteurs à très faible coût mais à rendement faible (>10%), c'est ce qui est recherché pour les capteurs organiques, soit au contraire des capteurs à fort rendement (>20%, actuellement on atteint les 35% en laboratoire). La deuxième opportunité est l'intégration du capteur, de sa commande, et d'un stockage d'énergie, pour assurer de manière autonome des fonctions peu gourmandes en énergie (en particulier pour l'éclairage).

✓ *Enjeu géopolitique et indépendance*

Les énergies renouvelables étant essentiellement des énergies de flux, elles utilisent une ressource à caractère local et garantissent donc de ce point de vue une véritable indépendance géopolitique. En ce qui concerne la fabrication du matériel de production, toutes les techniques sont disponibles au niveau de l'Europe, elle ne pose donc pas de problème particulier. Il faut néanmoins maintenir une avance technologique et des normes de qualité des produits et des services associés, car la concurrence des produits asiatiques à bas coûts se fait rapidement sentir. Dans chacun des segments décrits ci-dessus, les marges de progrès technologiques restent élevées. Il faut donc rester dans la course, par des politiques combinant innovation et dissémination rapide. Au total, ce sont les technologies renouvelables les plus performantes qui compteront d'ici quelques années et il ne tient qu'à nous de nous les approprier par un effort de recherche suffisant.

✓ *Enjeu démocratique*

La définition même d'une politique énergétique doit faire l'objet d'un débat démocratique. Mais au-delà de cette définition globale, la mise en œuvre locale doit elle aussi être l'objet d'un débat. L'innovation technologique doit prendre en compte l'innovation sociale ; l'ensemble doit porter autant sur l'offre que sur la demande. En ce sens, l'école des énergies renouvelables est aussi une école de démocratie.

Le nucléaire n'a pu s'imposer que « du haut » de l'appareil d'Etat et nécessite une forte concentration industrielle et une politique sécuritaire. Un ensemble de contraintes qui se prête mal à cette demande de démocratie. Les risques divers liés à cette filière tout au long de son déploiement, de la mine aux déchets, sont tellement importants que l'innovation locale est interdite et l'organisation des sites et des transferts doit se faire sur un modèle quasi militaire. Le problème des déchets radioactifs ne peut pas non plus se traiter de manière démocratique : il est impératif de trouver un lieu de stockage même si toutes les régions refusent. De plus, le nucléaire a besoin pour être rentable d'une consommation importante et continue, et ne favorise donc pas là non plus un comportement vertueux d'économie d'énergie qui lui-même est source d'innovations.

A l'inverse, les énergies renouvelables se prêtent beaucoup mieux à un traitement démocratique. Chaque territoire peut choisir son niveau de dépendance ou d'indépendance, l'énergie qu'il souhaite développer en fonction des ressources locales, les modalités de recherche d'économies d'énergie, les modes de propriété des moyens de production voire d'exploitation. Cela favorise donc des expériences très différentes et par là même des innovations et le développement d'entreprises et d'emplois locaux. Cette production locale d'énergie donne tout son sens aux « smart grids » ou réseaux intelligents, qui permettent d'être tantôt producteur tantôt consommateur, et devrait permettre une diminution des pertes dans les réseaux et une optimisation de la consommation.

En outre, comme l'ont montré les études des universités californiennes, l'option « tout renouvelable » au plan mondial se montre tout à fait réalisable, mais devra notamment reposer sur des dispositifs d'interconnexions au niveau continental et global, pour permettre d'optimiser les pics de production et de consommation dans les diverses parties du monde. Ce sont donc des « smart grids » mondiaux, qu'il faudra promouvoir, emboitant les divers réseaux locaux, et permettant un juste partage des ressources qui devra lui-même reposer sur des dispositifs multilatéraux justifiant de relations pacifiques et équilibrées entre pays. Il y a là un enjeu diplomatique qui impose des pratiques de gouvernance nouvelles constituant un autre challenge de démocratie et de fraternité planétaire.

Conclusion générale

Les possibilités de lutte contre le changement climatique sont directement liées aux évolutions énergétiques notamment des prix des hydrocarbures. Si en réalité, les deux questions (gaz à effet de serre et consommation énergétique) correspondent à des causes et à des dynamiques indépendantes, en pratique, les $\frac{3}{4}$ des émissions de gaz à effet de serre découlent de la consommation directe ou indirecte de combustibles fossiles.

L'Europe présente une grande dépendance au plan de son approvisionnement énergétique : elle ne possède plus d'hydrocarbures dans son sol et ses ressources charbonnières sont réduites. Elle est donc dorénavant très dépendante de son approvisionnement extérieur pour tous les combustibles fossiles.

Des tensions croissantes sur l'approvisionnement international

❖ L'effet d'une demande mondiale croissante

Après les chocs pétroliers des années 70 et la baisse consécutive pendant 15 ans des prix du pétrole autour de 30 \$ le baril, on assiste à une très forte remontée depuis 2003. En effet, se sont ajoutés au milliard d'habitants des pays développés de la fin du XX^e siècle (Europe + Amérique du Nord + Japon + ex-URSS), environ 3 milliards d'habitants des pays émergents qui accèdent maintenant à de meilleures conditions de vie et donc consomment davantage d'énergie, de matières premières et de produits alimentaires. Si cela ne touche pas encore toute la population de la Chine, de l'Inde et du Brésil, cela concerne également des parts croissantes de populations d'autres pays.

❖ Des conditions d'extraction de plus en plus difficiles

Il en ressort un appel massif sur les ressources énergétiques alors que côté production, les gisements de pétrole les plus accessibles sont déjà en exploitation et que les gisements additionnels présentent des conditions d'exploitation beaucoup plus difficiles et coûteuses. Compte tenu de ces difficultés d'extraction, les débits des nouveaux gisements sont plus faibles, il faut donc déployer des efforts d'autant plus massifs d'exploration et d'extraction pour compenser les gisements en déclin.

Les coûts d'extraction des pétroles non conventionnels (huiles lourdes du bassin de l'Orénoque au Venezuela et sables asphaltiques de l'Alberta au Canada) sont beaucoup plus élevés et leur extraction est très polluante.

❖ Une offre pétrolière qui parvient difficilement à suivre la demande

Alors que la croissance mondiale avoisine les 5 %, tendancielle, la croissance de la demande pétrolière n'est que de 1,5% à 2% par an. Néanmoins, l'augmentation de l'offre mondiale de pétrole ne croît que de 1% par an.

Il s'ensuit (avec des fluctuations évidemment) un contexte général de tension sur les marchés. Une détente avait été provoquée par la crise économique et financière de septembre 2008 qui avait été suivie par une baisse du prix du pétrole. Celui-ci avait été de 147 \$ le baril en août 2008, puis de 40 \$ le baril en novembre pour revenir actuellement à 120 \$ le baril.

❖ Un enjeu géopolitique croissant

Les deux tiers des ressources de pétrole conventionnel se situent au Moyen-Orient. Pour des raisons de diversification les pays consommateurs ont privilégié l'exploitation des ressources situées en dehors des pays de l'OPEP ou en dehors du Moyen-Orient. Les ressources de ces pays s'épuisent donc plus vite que ceux des pays disposant des principales réserves. En 2030, l'essentiel des ressources pétrolières seront concentrées dans six pays : l'Arabie Saoudite, l'Irak, l'Iran, la Russie, le Venezuela et le Canada.

La perspective d'une raréfaction des ressources pétrolières

En outre, la raréfaction progressive des ressources pétrolières va aggraver ce contexte et conduire à des prix plus élevés, où le secteur des transports sera le plus touché. Il est évidemment impossible de prévoir l'échéance d'une telle évolution.

❖ Des ressources mal connues

En fait, les ressources pétrolières restent mal connues. A cela des explications d'ordre très différent :

Il est impossible de connaître précisément le potentiel de production d'un gisement, cela dépend de la capillarité de la roche mère ;

Certains pays couvrent par le secret leurs informations concernant leurs réserves.

Les réserves prouvées et probables sont estimées à environ 46 années au niveau actuel de consommation.

❖ Des progrès technologiques possibles dans l'exploitation

La durée d'exploitation des ressources pétrolières dépend autant des progrès possibles dans les techniques d'extraction que dans la découverte de nouveaux gisements. Mais ces nouvelles techniques plus complexes sont inévitablement plus coûteuses.

⇒ **Première conclusion : le pétrole sera cher avant d'être rare.**

En conséquence de ce qui précède, le renchérissement du pétrole interviendra bien avant d'être confronté à la rareté des ressources. C'est là un point qui fait largement consensus au sein de la communauté scientifique.

❖ L'horizon des tensions sur l'approvisionnement

La durée d'exploitation peut être prolongée par des efforts d'économie et de substitution d'énergie. Cela dépendra ensuite de l'ampleur des efforts d'économie et de substitution d'énergie réalisés, des contextes géopolitiques et des amplifications induites par des mouvements spéculatifs.

Compte tenu de la complexité des facteurs exposés précédemment, les experts divergent fortement quant à cet horizon. Pour certains, il est déjà engagé. Pour d'autres, compte tenu de l'exploitation des ressources non conventionnelles de pétrole et de gaz cet horizon serait plutôt autour de 2050.

⇒ **Deuxième conclusion : il est difficile d'estimer l'horizon du déclin de la production pétrolière.**

Les perspectives concernant le gaz naturel

Il faut ensuite noter que le prix du pétrole reste largement le prix directeur des autres énergies notamment du gaz naturel dont les prix sont indexés sur ceux du pétrole dans les contrats d'approvisionnement avec les pays producteurs. Or c'est la principale énergie consommée pour le chauffage des bâtiments.

❖ Les caractéristiques spécifiques au gaz naturel

L'énergie la plus difficile à transporter

Autant le pétrole peut être facilement acheminé partout, autant le gaz naturel exige des infrastructures lourdes et coûteuses (réseau de gazoducs, ports et bateaux méthaniers pour transporter du gaz naturel liquéfié à très basse température).

Une forte rigidité des prix

Cette exigence d'infrastructure rigidifie et stabilise les relations entre l'offre et la demande. C'est la raison de l'indexation des prix du gaz naturel sur ceux du pétrole pour les contrats à long terme (notamment concernant l'approvisionnement de l'Europe par le gaz russe).

La difficile question des gaz de schiste

Récemment, d'importants gisements de gaz ont été découverts à de grandes profondeurs dans des formations géologiques différentes de celles des gisements habituels (une poche de gaz coincée dans un dôme surmonté de roches étanches). Il s'agit là de roches peu perméables qui doivent être fracturées pour libérer une partie du gaz. Après avoir suscité de grands espoirs, l'exploitation de ces gisements présente de grandes difficultés : utilisation de substances chimiques pour favoriser la libération du gaz et sa dissolution dans l'eau injectée et risques de fuite de gaz du fait des fracturations opérées.

Un retour à l'exploitation du charbon au 21^e siècle ?

Les ressources de charbon sont de loin les plus importantes de tous les combustibles fossiles. Néanmoins, son exploitation est difficile (accidents miniers), son utilisation polluante et son usage, le plus émetteur de gaz à effet de serre. Dans ces conditions un recours massif au charbon sera soumis à trois conditions : une épuration des fumées des particules et polluants, le développement d'exploitations robotisées des gisements les plus profonds et difficiles et la capture, l'injection et le

stockage du carbone dans des gisements de pétrole et de gaz épuisés et des nappes aquifères très profondes à condition qu'elles soient étanches.

⇒ **Troisième conclusion : la séquestration du carbone sera une condition d'exploitation prolongée du charbon.**

Une spécialisation de plus en plus marquée des marchés des combustibles fossiles

Les grands mouvements de substitution sont d'ores et déjà effectués. Ils débouchent sur la répartition suivante :

L'usage du pétrole se concentre de plus en plus sur le transport ;

Le gaz est l'énergie dominante dans la production de chaleur (chauffage domestique, vapeur industrielle) et la production électrique de pointe ;

Le charbon se concentre dans la production électrique de base et la fabrication de fonte.

L'évolution des prix du pétrole

❖ Un prix plancher

Le prix du baril de pétrole semble s'installer dans la fourchette 80 \$ – 150 \$. Si après le déclenchement de la crise financière d'octobre 2008, le prix du baril de brut avait fléchi à 40 \$/bl, par contraction transitoire de la demande, il est depuis reparti à la hausse du fait de la vive croissance économique des pays émergents.

En pratique, il ne peut plus s'installer durablement en dessous de 80 \$ le baril du fait des coûts des nouveaux gisements et des besoins financiers nécessaires pour assurer un niveau suffisant d'investissement dans l'exploration.

❖ Un prix plafond de moyen terme

Toutefois, au-delà de 150 \$/bl (sur une période longue), les prix trop élevés rendent certaines consommations inaccessibles aux populations modestes et déclenchent ainsi une contraction de la demande ce qui débouchent sur une crise économique. C'est ce qui s'est passé en 2008 et précipité la crise des sub-primes. Il y a ainsi en quelque sorte un prix plafond du pétrole.

❖ Un prix plafond de long terme

A long terme, lorsque la tension entre l'offre et la demande sera beaucoup plus déséquilibrée, le prix du pétrole peut largement dépasser ce niveau de 150\$ le baril, devenir inaccessibles pour de nombreux usages, et se stabiliser à un niveau qui ne serait supportable que pour les pays les plus riches et pour les usages les plus indispensables. Le niveau des progrès de substitution d'énergie seront alors déterminants.

⇒ **Quatrième conclusion : tout indique que nous soyons entrés dans une période d'énergie chère.**

Si des périodes de répit sont évidemment possibles, elles tendront à devenir de plus en plus brèves.

Le nucléaire représente 5% de l'approvisionnement énergétique mondiale. Mais cette importance varie fortement selon les pays. Elle est de 22% de la consommation d'énergie en France et de 80%.

Les spécificités du nucléaire sont les suivantes :

- Les ressources d'uranium exploitables sont estimées à 80 années au niveau actuel de consommation ;
- La technologie présente des risques majeurs tant au plan de la maîtrise des réactions nucléaires, qu'à celui des défaillances humaines et qu'à l'exposition à des risques naturels ;
- La durée de dégagement de radioactivité par certains éléments peut porter sur des durées très longues (plusieurs décennies pour le Césium 131, ou plus de 20.000 ans pour le plutonium), ce qui donne au risque d'accident une dimension temporelle sans équivalent ;
- La gestion de la fin du cycle (démantèlement des réacteurs et stockage des déchets à vie longue) n'est pas complètement maîtrisée ;
- Il en résulte une appréciation du coût du kWh nucléaire qui comporte encore d'importantes incertitudes.

Les avis quant à l'utilisation de cette énergie sont évidemment divergents. Il est clair qu'elle ne peut être développée dans les pays à faible gouvernance et exige des conditions de sécurité extrêmement importantes. Son potentiel est donc limité. Son recours seul ne peut résoudre la division par 2 les émissions mondiales de gaz à effet de serre et le remplacement des combustibles fossiles.

L'évolution des prix de l'électricité

Les prix de l'électricité sont eux aussi orientés à la hausse, et ce pour des raisons indépendantes, mais convergentes :

- La libéralisation du marché de l'électricité a induit une forte hausse des prix, notamment sur le marché spot lors des pointes de consommations hivernales où en pratique le prix du kWh est indexé sur le gaz naturel ;
- Les équipements de production construits en réponse aux chocs pétroliers des années 70, vont arriver en fin de vie et devront être remplacés (notamment les réacteurs nucléaires) pendant la période 2020-2040 en fonction des choix de production effectués ;
- La libéralisation du marché de l'électricité a induit un sous-investissement qu'il va falloir d'autant plus rattraper que la surcapacité de production électrique qu'a connu l'Union européenne est terminée ;
- L'accident de Fukushima va induire des investissements de renforcement de la sécurité des réacteurs dans toute l'Europe ;
- A terme, il faudra dégager les capacités financières pour démanteler les réacteurs et assurer un stockage sécurisé des déchets nucléaires.

⇒ **Cinquième conclusion : le prix de l'électricité devrait également augmenter dans les deux décennies qui viennent.**

Les potentiels d'économie d'énergie sont de deux natures : la sobriété énergétique et l'efficacité énergétique.

❖ Les progrès de sobriété énergétique

Les progrès de sobriété énergétique résident à la fois dans une amélioration des comportements individuels et le développement de nouvelles technologies (détection de présence, régulation de température). Les potentiels de réduction de consommation à confort inchangés sont estimés à environ 10%. A cela s'ajoutent des changements vers des modes de vie plus simples.

La réalisation de ces progrès nécessite davantage des efforts éducatifs et d'information que d'investissements financiers.

❖ Les progrès d'efficacité énergétique

Il s'agit là de progrès de nature davantage technique : la conception des appareils et des bâtiments, les changements de procédés industriels....

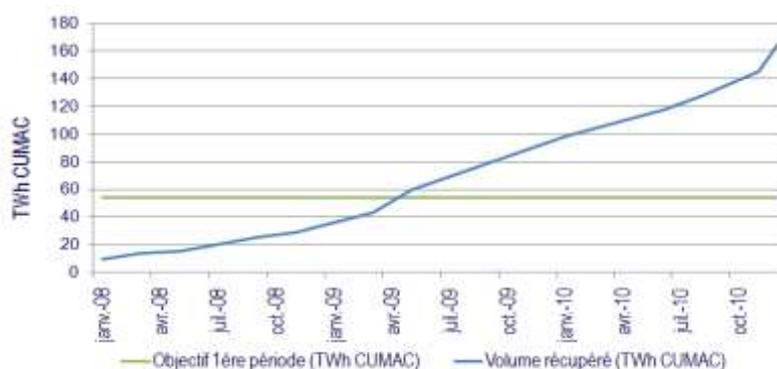
Des nombreuses études ont été réalisées de par le monde. Elles indiquent qu'un tiers de l'énergie peut ainsi être économisée par la diffusion des meilleures techniques existantes.

Ce potentiel théorique nécessite d'être modulé dans trois directions :

- évidemment, ce potentiel dépend de la mobilisation des différents acteurs ;
- sa réalisation dépend de la rentabilité des interventions en fonction des prix des énergies ;
- et ce potentiel tend à s'accroître avec le progrès technique.

❖ Les certificats d'économie d'énergie

Figure 78 : Résultats de la première période du dispositif de certificats d'économies d'énergie

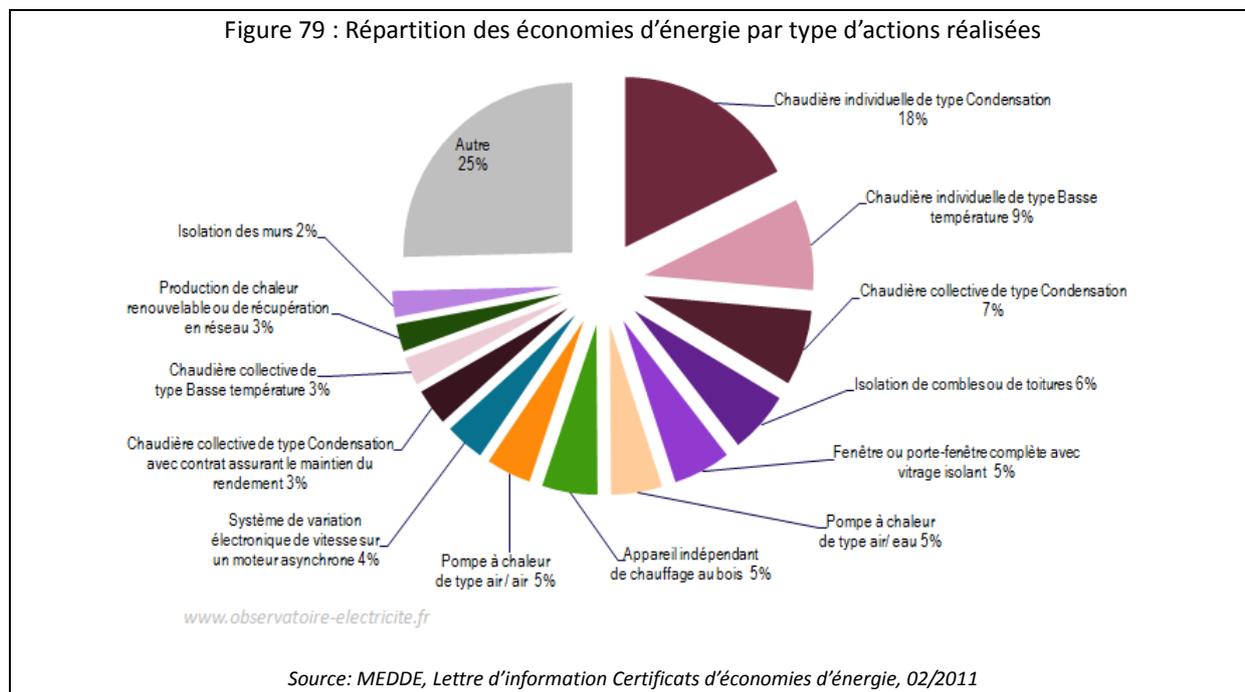


Source : MEEDDM, Lettre d'information Certificats d'économies d'énergie, février 2011

Le principe des certificats d'économies d'énergie (CEE) impose aux vendeurs d'énergie (les "obligés") de réaliser des économies d'énergie. Les CEE sont délivrés par les pouvoirs publics et attestent de la réalisation d'économies d'énergie. Un objectif de réalisation de 54 TWh d'économies cumulées actualisées (TWh CUMAC) sur trois ans (1^{er} juillet 2006 - 30 juin 2009) avait été décidé par les pouvoirs publics à titre de première expérimentation. L'objectif de la première période, fixé à 54 TWh d'économies d'énergie a été atteint en avril 2009, soit deux mois avant la fin de la période. Au total,

164,3 TWh d'économies d'énergie ont été réalisées depuis le lancement du dispositif. La seconde période triennale du dispositif s'étendra du 1^{er} janvier 2011 au 31 décembre 2013.

❖ Gisements d'économie d'énergie



Ce graphique présente les principales actions ayant conduit à la délivrance de CEE jusqu'à fin décembre 2010. Plus de 40% des économies d'énergie certifiées ont été réalisées grâce à l'installation de chaudières individuelles ou collectives au gaz naturel. Les travaux d'isolation correspondent à 13% de ces économies d'énergie.

Le développement des énergies renouvelables

Comme la hausse des prix du pétrole entraîne celle des autres combustibles importés (charbon et gaz), il est essentiel d'améliorer l'efficacité énergétique dans tous les domaines d'activité et de développer les ressources locales que constituent les énergies renouvelables.

Derrière cette dénomination commune d'énergies renouvelables se présentent des situations très différentes quant à :

- la maturité des techniques (des progrès techniques importants sont nécessaires pour le photovoltaïque, la gazéification du bois, la géothermie profonde, les biocarburants de 2^{ème} génération, les énergies marines...);
- les potentiels de ressources,
- la continuité ou la discontinuité de fourniture (intermittente mais régulière (photovoltaïque) ou aléatoire (éolien) ;
- leur caractère stockable ou non ;
- la localisation des ressources ;
- et évidemment leur coût.

L'intérêt en faveur des énergies renouvelables, les seules dont disposent désormais l'Europe sur son sol, s'amplifie à mesure que les prix des autres énergies s'accroissent. Les potentiels des énergies renouvelables doivent donc être régulièrement réévalués en fonction des progrès techniques et des prix des autres énergies.

⇒ **Sixième conclusion : du fait des incertitudes sur l'approvisionnement en hydrocarbures, de la hausse des prix des énergies et de la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre, les progrès de sobriété et d'efficacité énergétique et de développement des énergies renouvelables constituent des priorités.**

Ces solutions ont en effet en commun une réduction de l'exposition aux risques les plus importants, même si certaines technologies peuvent avoir un impact sur l'environnement.

L'importance en conclusion de la relation entre la lutte contre le changement climatique et la réponse à la hausse des coûts des énergies

D'un côté, la lutte contre le changement climatique constitue une obligation absolue par ses enjeux de long terme, mais elle ne peut directement s'appuyer que sur des signaux économiques qui orientent en ce sens les acteurs économiques et les comportements des ménages.

De l'autre côté, l'énergie, avec ses échéances critiques pour le milieu du siècle, affecte directement tous les acteurs ; si les prix fluctuent fortement, la tendance à la hausse est claire, donnant un signal qui encourage les acteurs économiques à s'engager dans la lutte contre le changement climatique. Les actions d'amélioration de l'efficacité énergétique, de diversification des modes de transport et de développement des énergies renouvelables réduisent les dépenses énergétiques, génèrent des emplois locaux non délocalisables et dont les coûts sont insensibles aux événements internationaux.

La synergie entre les deux questions allie alerte sur le long terme et signal économique qui pousse les acteurs économiques à l'action.

Ce retour de la question énergétique nécessite d'intégrer une démarche en coût global pour appréhender le mieux possible l'économie des projets en prenant en compte de façon attentive et réaliste les évolutions de dépenses de fonctionnement et les prix futurs de l'énergie et du carbone.

⇒ **Septième conclusion : il est essentiel d'aborder de façon conjointe les questions d'énergie et de climat.**

Le caractère déstabilisateur des variations abruptes des prix des énergies

Il est nécessaire à ce stade de revenir sur la question des prix tant elle détermine les comportements réels des ménages et des acteurs économiques.

❖ Les facteurs qui influent sur les prix

L'amplitude des variations des prix des énergies n'ont d'égal que les variations des avis d'experts. Il faut en effet distinguer de nombreuses causes et phénomènes qui interagissent entre eux comme présenté plus haut :

- la croissance de la demande mondiale tirée par les pays émergents,

- les hausses brutales des prix des énergies (pétrole et peut-être gaz) en fonction d'événements politiques dans les pays producteurs,
- les effets de catastrophes à cause naturelle ou découlant d'accidents technologiques,
- les baisses de prix qui peuvent être liées à des découvertes importantes,
- les variations de consommation qui peuvent découler de phénomènes météorologiques notamment dans les principaux pays consommateurs de l'hémisphère nord,
- les effets de report d'une énergie vers une autre qui découlent des stratégies des pays.

Il en ressort une grande instabilité des prix. Cette situation va s'amplifier à mesure que les tensions entre l'offre et la demande vont s'accroître.

❖ La théorie économique de la raréfaction des ressources

La base de l'économie de la raréfaction des ressources a été apportée par Harold Hotelling qui met en évidence en 1931 que la raréfaction d'une ressource dégagera une rente équivalente à un taux d'intérêt proportionnel au rythme de raréfaction de la ressource. Auparavant les économistes (tant Marx que Ricardo) n'accordaient aux ressources d'autre valeur que le travail nécessaire pour leur extraction.

La crise de 2008 souligne une réalité concrète plus erratique que ce qu'énonce la théorie.

- La perspective de tensions géopolitiques sur les ressources et sur l'approche de la raréfaction des ressources encourage la spéculation financière.
- Lorsque des prix maximum sont atteints, dès lors qu'il y a impossibilité de les supporter par une partie des acteurs économiques et des consommateurs, la demande se tasse par impossibilité de payer par les ménages modestes et les pays pauvres. Il s'ensuit alors une crise économique et donc une chute conjoncturelle des prix des énergies. La chute a été de 147 \$/bl en août 2008 à 40 \$/bl en novembre 2008.
- Les prix évoluent dès lors d'une façon erratique (en tôle ondulée, plutôt que sur une pente linéaire).
- Dès que la croissance économique mondiale repart, les processus spéculatifs se réenclenchent en se rapprochant de nouveau du point de rupture.

⇒ **Huitième conclusion : aux mécanismes physiques de fixation des prix se superpose la constitution d'une rente spéculative qui tend à se stabiliser au niveau de coût supportable.**

Le mot « tend » doit être entendu dans son sens mathématique. Le niveau de la rente se fixe ainsi à un niveau proche du maximum supportable.

Il y a donc un conflit quant à l'appropriation de la rente croissance qui découle de la raréfaction des ressources. Avec trois possibilités :

- Cette rente est appropriée par les producteurs d'énergie (Etats producteurs et compagnies) qui régulent l'offre pour maintenir une tension par rapport à la demande et ainsi faire monter les prix.
- Si les prix sont bas, les spéculateurs captent cette rente en anticipant sur les hausses futures.
- Ce sont les Etats consommateurs qui captent cette rente par la fiscalité sur les énergies. Dans la logique de ce qui précède cette fiscalité doit être à contre-cycle afin d'éviter d'amplifier les

difficultés sociales que ne manquerait pas de provoquer une hausse par les producteurs amplifiée par une taxation proportionnelle aux prix.

Il en résulte également que ce captage public de la rente doit être réinvesti dans la politique de maîtrise de l'énergie pour réduire la vulnérabilité du pays (efficacité énergétique, sobriété des comportements et développement des énergies renouvelables).

Reste la question posée par l'instabilité des prix. La hausse des prix des ressources donnera-t-elle un signal clair et progressif pour inciter à un usage efficace ? Dans cette hypothèse peut-on imaginer que les progrès d'efficacité énergétique soient largement réalisés à partir d'un scénario clair d'augmentation des coûts. Ou le désordre des prix sera tel qu'il obstruera les comportements rationnels d'anticipation.

Cet élément plaide pour une fiscalité à contre-cycle car seule cette solution cumule trois avantages : un signal prix clair sur le long terme par captage de la rente quand les prix sont bas, une préoccupation sociale et la réalisation d'investissements préparant le long terme.

⇒ *Neuvième conclusion : seule une fiscalité contracyclique par rapport aux prix des combustibles fossiles permet une appropriation collective de la rente, de favoriser les anticipations d'investissements et de réguler les prix afin de contrebalancer les effets sociaux négatifs.*

Dès lors, seul ce système peut générer l'indispensable acceptation sociale.

⇒ *Dixième conclusion : il est essentiel de développer les politiques publiques et les comportements d'anticipation des acteurs économiques et des ménages afin de réduire la vulnérabilité du territoire.*

POINT D'ETAPE

Récapitulatif des controverses sur les ressources énergétiques (fossiles, nucléaires)

Ressources fossiles

Les tenants du BAU : les économistes de l'énergie (Chevalier...), les principales entreprises pétrolières, l'OPEP, l'AIE (jusqu'en 2008), le GIEC (qui s'appuie sur les publications de l'AIE). Ils considèrent que la question de la limitation des ressources ne se pose pas, du fait que le marché permet de réajuster la production et la demande. Lorsque la demande excède l'offre, les prix augmentent et de nouvelles ressources plus chères peuvent être mises en production. Les dépenses d'exploration et de production croissent et permettent de mettre sur le marché des quantités supérieures, soit par l'amélioration des technologies de production, augmentant les taux de récupération (production assistée,

Les tenants du « peak oil » : les géologues pétroliers de l'ASPO (Association for Study of Pic Oil), certains écologistes (Yves Cochet en France). Ils considèrent que l'épuisement des ressources fossiles est inéluctable. La croissance exponentielle de la demande entraîne, face à des gisements en quantité limitée, une courbe « en cloche » de la production. Bien entendu, la croissance des coûts de production permet de prolonger le pic, et de passer du pic au plateau, mais en tout état de cause, la production ne pourra dépasser un certain volume annuel. La discussion porte alors sur la date du pic, selon son caractère plus ou moins élevé (plus haut le pic, moins allongé le plateau).

pétrole et gaz de schistes...), soit du fait de nouvelles découvertes (plus profondes, plus lointaines, off-shore...).

Ces dernières années, on a vu les certitudes du premier groupe s'effriter. M. De Margerie (Total) en est venu à admettre que la production mondiale ne pourrait plus dépasser certaines valeurs. Suivi par l'AIE qui ne s'appuie plus systématiquement sur la linéarité de la croissance de l'offre dans ses scénarios. Ainsi, ce n'est plus seulement le changement climatique qui contraint à réduire les consommations des ressources fossiles, c'est aussi la limitation des ressources, et la croissance des prix qui en découle. On trouve là le principal fondement de l'économie écologique.

Ressources nucléaires (Uranium)

Les tenants de l'abondance : entreprises du nucléaire (AREVA, EDF...), entreprises minières, Gouvernements des pays nucléarisés (Etats-Unis, Japon, Russie, France, AIE, AIEA. Ils considèrent que l'uranium est assez abondant dans l'écorce terrestre pour permettre d'alimenter en toute hypothèse de croissance de la demande les besoins futurs des centrales, quel qu'en soit le nombre. Outre l'abondance de la ressource, cette assurance repose sur la conviction que les technologies futures permettront d'augmenter le rendement des centrales, allant jusqu'à une production de combustible supérieure au volume consommé grâce à la surrégénération.

Les sceptiques : tenants des énergies renouvelables, mouvements antinucléaires, une partie des lobbies pétroliers. Ils considèrent que les meilleurs gisements mondiaux seront écrémés dans les 30 prochaines années, et que des risques d'approvisionnement sont à craindre à moyenne échéance. De ce fait – outre les questions de risques technologiques et naturels induits- le passage aux énergies renouvelables est préférable en tout état de cause, dans le cadre d'une sortie progressive du nucléaire (à horizon 2030-2035 pour certains, 2050 pour d'autres).

La difficulté d'approvisionnement à long terme a longtemps été oblitérée par l'abondance de l'offre en combustibles fossiles, résultant notamment du démantèlement des armements soviétiques. Mais cette période aura une fin, de même que les mines à excellente teneur découvertes au Canada et en Australie. Ainsi AREVA, après avoir décidé de renoncer à l'activité minière au début des années 2000 compte tenu de la faiblesse persistante des cours de l'uranium et des perspectives jugées favorables, a revu sa position à partir de 2006 et repris les travaux d'exploration et de développement minier. Au niveau actuel de consommation, les ressources d'uranium exploitables sont estimées à environ 80 années au niveau actuel de consommation.

Néanmoins, que ce soit du fait du risque technologique, accru par le poids croissant des risques découlant du changement climatique par exemple, ou du fait des difficultés d'approvisionnement en minerais d'uranium, on trouve ici encore une raison supplémentaire de travailler à une sortie progressive du nucléaire.

Récapitulatif des controverses sur les ressources renouvelables

Les énergies renouvelables présentent de nombreux avantages. Leur qualité d'énergie de flux, leurs impacts environnementaux modérés et maîtrisables, leur adéquation pour répondre à une demande dispersée ainsi que la nécessité de prendre des assurances face à un avenir énergétique assez

incertain justifient des prises de décisions visant à accélérer le parcours d'une courbe d'apprentissage pour abaisser les prix. À côté de l'effort de recherche, l'ouverture de certains marchés est nécessaire dans cette perspective. La question du mix énergétique adéquat fera l'objet d'un développement particulier dans la suite de nos travaux.

Les conclusions pour l'étude

Voici les grandes conclusions que nous tirons de ce développement sur les ressources énergétiques :

❖ Enjeux internationaux

- La tendance globale est celle de **l'augmentation de la consommation de ces ressources**, parallèle à **l'augmentation des coûts d'extraction et d'exploitation**. Cette augmentation de la demande plus rapide que l'offre crée des tensions sur les marchés, avec une augmentation croissante du prix de l'énergie.
- Les ressources énergétiques posent des enjeux géopolitiques forts, avec une concentration de ces ressources dans certains pays. L'Europe est particulièrement dépourvue même si les données sur les ressources pétrolières sont encore mal connues.
- L'exploitation du charbon pose de nombreux problèmes : exploitation difficile et polluante, un usage très émetteur de GES. Son utilisation est donc conditionnée aux progrès techniques réalisés en termes de séquestration du carbone.
- Lutte contre le changement climatique et évolutions des énergies fossiles sont intrinsèquement liées : $\frac{3}{4}$ des émissions de gaz à effet de serre découlent de la consommation directe ou indirecte de combustibles fossiles. Une démarche en coût global doit être développée pour appréhender le mieux possible l'économie des projets en prenant en compte de façon attentive et réaliste les évolutions de dépenses de fonctionnement et les prix futurs de l'énergie et du carbone. Il **est donc essentiel d'aborder de façon conjointe les questions d'énergie et de climat**

Globalement, la conclusion majeure à tirer est celle d'une augmentation tendancielle du prix de l'énergie : le pétrole sera cher avant d'être rare, et il en est de même des autres énergies (gaz et charbon).

❖ Enjeux pour la France

Les constats à dresser pour la France sont les suivants :

- La France est tout aussi dépourvue en hydrocarbures et gaz que l'Europe. Si des gisements de gaz de schistes ont pu être repérés, son exploitation présente de nombreuses limites. Cette dépendance énergétique de la France à l'égard des pays pétroliers doit être minimisée en développant des énergies non délocalisables et génératrices d'emploi.
- **Le nucléaire doit être progressivement abandonné** : les ressources en uranium sont limitées, la technologie présente des risques majeurs, avec une dimensionnelle temporelle sans équivalent, la fin de cycle n'est pas maîtrisée et enfin, le coût du KWh est encore très incertain.
- De plus, l'électricité va subir la même trajectoire de prix avec l'arrivée en fin de vie de nombreuses infrastructures, la nécessité d'investir dans le renforcement de la sécurité des réacteurs et l'intégration des coûts en fin de vie.

Face à ce diagnostic, les orientations qui devront être prises dans nos scénarios de transition vers une économie écologique sont les suivantes :

- **Les potentiels d'économie d'énergie doivent être une priorité**, en déployant des programmes éducatifs et campagnes d'informations. Les potentiels de réduction de consommation à confort inchangés sont estimés à environ 10%, du côté de la sobriété ; un tiers de l'énergie pourrait être économisée par la diffusion des meilleures techniques existantes, du côté de l'efficacité énergétique.
- Du fait des incertitudes sur l'approvisionnement en hydrocarbures, de la hausse des prix des énergies et de la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre, **le développement des énergies renouvelables constitue également une priorité.**
- La trajectoire du prix de l'énergie évolue de façon erratique (rente spéculative parallèle aux mécanismes physiques de fixation des prix) ; seule une fiscalité contracyclique par rapport aux prix des combustibles fossiles pourrait permettre une appropriation collective de la rente, favoriser les anticipations d'investissements et réguler les prix afin de contrebalancer les effets sociaux négatifs. Seul ce système peut générer l'indispensable **acceptation sociale.**

Pour la France, en suivant les éléments ci-dessus, il est donc essentiel de développer les politiques publiques et les comportements d'anticipation des acteurs économiques et des ménages afin de réduire la vulnérabilité du territoire, d'en augmenter sa résilience et son indépendance.

Chapitre 4 : Ressources et milieux naturels

La nature de la confrontation aux limites d'absorption de l'environnement diffère grandement selon les choix technologiques et politiques. L'économie écologique, comme tout autre choix de société, ne sera pas à l'abri de cette confrontation. Pour qu'elle se fonde dans une politique de développement durable, elle devra prendre en compte dans sa conception et sa mise en œuvre son propre impact sur les milieux naturels. Outre les ressources biologiques – biodiversité et espèces remarquables – et les ressources minérales traitées dans les chapitres précédents, l'ensemble des milieux physiques : air et atmosphère, eau, et sols, en tant que ressources et milieu naturels sont ici abordés ; ce sont en effet autant d'objets de controverses avérées ou potentielles.

Le cœur de notre rapport étant néanmoins la question des ressources naturelles, les milieux naturels ne sont ici traités que dans les grandes lignes, à travers l'exemple de la forêt, afin d'isoler les éléments importants pour la poursuite de nos travaux.

Les sols

Les sols, partie supérieure de la terre, constituent des milieux naturels particulièrement sensibles, du fait de leur situation d'interface entre l'atmosphère, le sous-sol minéral et la biosphère. Milieux à la fois minéraux, organiques et biologiques, ils jouent un rôle essentiel comme source d'eau et de substances minérales pour les plantes et comme support général de la biodiversité dont ils sont par ailleurs partie prenante avec les micro-organismes qui jouent un rôle essentiel dans la mise à disposition des ressources organiques et minérales. Le sol est une ressource lentement renouvelable, très sensible aux activités humaines. Les sols sont directement transformés, voire éliminés par les activités humaines : agriculture, construction d'infrastructures et habitat. Plus encore que la biodiversité, ils subissent une pression importante et constante, dans tous les domaines d'activité, qu'ils soient agricoles industriels ou urbains. Cette pression anthropique conduit à la transformation de nature par surexploitation (latérite), à l'érosion par les eaux ou le vent à la suite d'un changement de la couverture naturelle, à l'imperméabilisation par compaction, à l'artificialisation (constructions, routes, parkings etc.). Les sols, plus que tout autre milieu physique, sont devenus **une ressource rare dont les différents usages entrent en compétition**.

Les fonctions fondamentales du sol

Tout comme l'eau et l'air, le sol est une ressource essentielle à la vie et ses fonctions sont multiples.

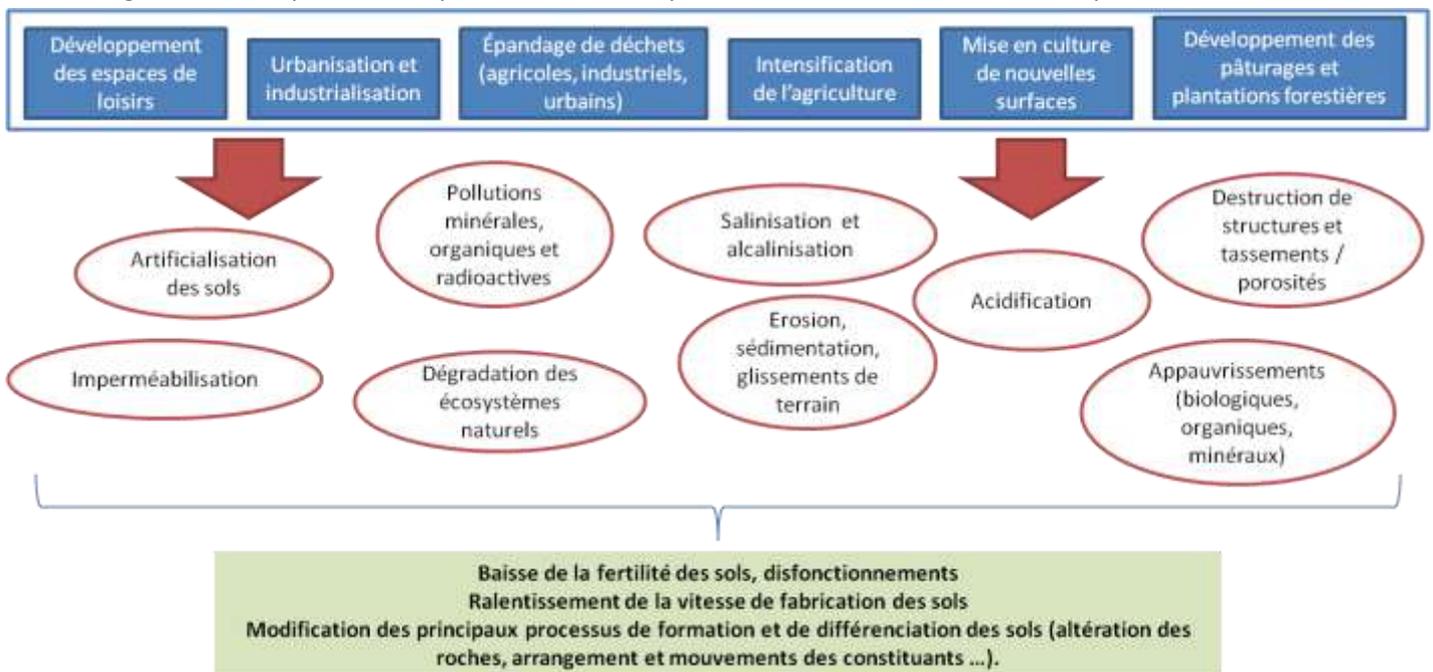
- La **fonction alimentaire**. Le sol nourrit le monde ; il produit, contient, accumule, tous les éléments nécessaires à la vie (azote, phosphore, calcium, potassium, fer, oligoéléments ...) y compris l'air et l'eau. Le sol joue le rôle d'un garde-manger primaire, plus ou moins grand et plus ou moins rempli pour une large part de la biodiversité. Les sociétés humaines, qui se nourrissent des plantes et des animaux, sont donc bien dépendantes des sols (alimentation et santé).

- La **fonction filtre**. Le sol est un milieu poreux, en permanence traversé par des flux hydriques et gazeux. De ce fait, le sol transforme, épure ou pollue les eaux qui le traversent : il régule le régime des cours d'eau et le remplissage des nappes souterraines ; il en influence la composition chimique et biologique. Mais aussi, le sol influence la composition de l'atmosphère ; en particulier, il stocke et relâche donc régule pour une part le carbone atmosphérique (il y a jusqu'à trois fois plus de carbone dans le sol que dans la végétation qui le recouvre).
- La **fonction biologique**. Le sol est lieu de vie, de passage obligé, pour de nombreuses espèces animales et végétales ; de nombreux cycles biologiques passent par le sol, incluent le sol, qui est donc partie prenante de nombreux écosystèmes. Le sol est une vaste réserve génétique : il abrite et influence une grande partie de la biodiversité terrestre. Par ailleurs, les activités biologiques sont essentielles à la construction des sols, à leur fonctionnement et à leur fertilité. La vie fait le sol ... et le sol fait la vie.¹²⁷

L'impact de l'activité humaine sur les sols

Le milieu naturel a été notablement transformé par les activités humaines, notamment par les pratiques agricoles. Ainsi, de nouveaux milieux ont pu être créés par les pratiques de pâturage et la valorisation par drainage (Camargue), correspondant à la création d'anthroposystèmes¹²⁸ mettant en œuvre une symbiose sociétés humaines et milieu vivant. Cependant, les pratiques intensives, le développement urbain qui accueille des populations croissantes entraîne aujourd'hui des conséquences sur la possibilité même de maintenir une activité biologique des sols de manière durable.

Figure 80 : Récapitulatif des pressions exercées par l'homme sur les sols, ses conséquences



L'interaction anthropique avec les sols porte ainsi atteinte :

¹²⁷ Alain Ruellan, *Sols et développement durable*, Encyclopédie du développement durable, article n°1 mars 2006, <http://encyclopedie-dd.org/encyclopedie/gouvernance/2-2-les-milieux-naturels/sols-et-developpement-durable.html>

¹²⁸ CNRS, Programme Environnement, vies, sociétés.

- à la biodiversité qui se transforme et s'appauvrit ;
- au cycle de l'eau qui est perturbé (crues, inondations, sédimentations aval) et qui se raccourcit (l'eau est moins disponible pour la biosphère et les besoins humains) ;
- à la qualité des eaux qui se polluent, chimiquement et biologiquement, localement et latéralement ;
- à la fertilité des milieux par rapport aux activités humaines : beaucoup de milieux s'appauvrissent, voire se minéralisent et sont alors abandonnés par les établissements humains (désertification) ;
- A la qualité de l'air par les pratiques agricoles intensives, (cycle de l'azote, produits phytosanitaires) ;
- à la santé au travers des polluants résiduels présents dans l'alimentation ;
- à la qualité de l'atmosphère qui s'enrichit en gaz à effet de serre (gaz carbonique, méthane).

Les controverses sur les impacts de l'usage multiple des sols

Les principales pressions que subissent les sols en Europe, et en France en particulier portent sur trois contraintes, qui sont autant d'objets de controverses : l'imperméabilisation et **l'artificialisation des surfaces** en termes d'occupation de terres, les **pollutions** (sites pollués et pollutions diffuses) et **l'érosion**. La prise en compte de ces questions en termes de politiques de protection et de réhabilitation ont fait l'objet de nombreux rapports européens qui n'ont encore abouti à la mise en place d'aucune politique commune, faute de consensus, notamment du fait des réserves de l'administration française.

❖ L'usage des terres : artificialisation versus préservation

Elle est objet d'une critique récurrente en France, du fait du développement de l'urbanisation éparse, en périphérie urbaine et en zone rurale, qu'il s'agisse de « mitage urbain » ou de résidences secondaires. Outre l'impact paysager sur les milieux naturels, et concernant la réduction des terres cultivables, il s'agit aussi d'une forme de « développement » particulièrement consommateur d'énergie concernant les réseaux et les transports.

❖ L'impact des intrants agricoles en question

L'impact des intrants agricoles ou autres (jardins, voierie...) – qu'il s'agisse de nitrates, potasse ou phosphates (engrais NKP), d'herbicides ou de pesticides – et les sites et sols pollués par des activités industrielles ou de services (anciens sites industriels, stations-services, etc.) sont autant de modification des espaces naturels aujourd'hui à connaître et surveiller pour éviter ou au moins réduire les impacts sanitaires et environnementaux de ces effets d'un passé non durable. Se posent dès lors les questions de réparation et de modification des pratiques pour éviter l'extension des nuisances.

❖ Les causes et remèdes à l'érosion

Elle est la conséquence d'une part de la déprise agricole, notamment en région méditerranéenne où les terrasses de culture sont rarement entretenues, et d'autre part du remembrement et de la suppression des haies qui constituaient souvent, même en plaine, des remparts contre le ruissellement et l'érosion. Autant de pratiques découlant d'une agriculture aidée, dont la logique intensive devrait être renversée au profit de pratiques agro-environnementales qu'une transition vers

une économie écologique devrait permettre de mieux prendre en compte, notamment par le développement des productions et des marchés de proximité.

Un déficit politique et professionnel de prise en charge de la question des sols

L'importance des sols pour l'avenir des sociétés est encore peu perçue, comme en témoigne nombre d'agendas 21 et autres plans d'occupation des sols. Malgré l'existence de données élaborées concernant les sols, les SCoT (Schéma de Cohérence Territoriale), par exemple, définissent les sols uniquement par les utilisations qui en sont faites et non par leur composition et leur rôle.

Une dernière controverse existe sur **la question de la propriété et de la valeur du sol**. En tant que ressource naturelle peu renouvelable, indispensable à la vie, il serait possible de légiférer sur les sols. Cela ne va pourtant pas de soi, étant donné que le sol, à la différence de l'eau ou des ressources minières du sous-sol, est le support de la propriété foncière, publique et privée. Seules l'Allemagne et la Suisse ont pris conscience de l'importance des sols et disposent d'une législation permettant une meilleure protection de ces derniers, en encadrant les modalités de propriété privée.

La prise en compte de ces questions en termes de politiques de protection et de réhabilitation ont fait l'objet de nombreux rapports européens qui n'ont encore abouti à la mise en place d'aucune politique commune, faute de consensus, notamment du fait des réserves de l'administration française sur le partage des coûts de réhabilitation des sols pollués de sites orphelins. Tout comme pour les ressources minérales, la question du sol soulève la question du manque d'investissement politique et professionnel, et fait l'objet de conflits de compétences au sein même de l'administration (agriculture, urbanisme, industrie, environnement...) :

*« S'il y a peu de choses faites concrètement pour atténuer les dégradations des sols et pour améliorer la situation des sols déjà fortement dégradés, c'est en grande partie aussi **par ignorance**, dans toutes les sphères de la société, de ce qu'est le sol et pourquoi il est nécessaire d'en préserver les fonctions. Producteurs, techniciens, administrateurs et politiques participent de cette ignorance qui prend ses racines dans l'absence de toute découverte ou partage de connaissance des sols dans le cadre de l'école. Le sol fait peu partie des cultures populaires : **le sol est peu et mal connu**. De ce fait, la gestion durable des sols ne fait pas partie des préoccupations prioritaires (au même titre que la gestion de l'eau, des animaux et des végétaux, de l'air), de la population, des responsables politiques, administratifs, techniques ... des propriétaires. Il faut en particulier **souligner le faible niveau de connaissances dans le domaine des sols de la plupart des agronomes et de la plupart des environmentalistes eux-mêmes** : beaucoup d'ingénieurs raisonnent sur l'agriculture et l'aménagement du territoire en donnant la priorité aux techniques et aux conditions économiques et en oubliant les diversités concernant les milieux naturels et les sociétés humaines. »¹²⁹*

Ainsi, il y a un constat simple à faire en France :

- Le Ministère de l'agriculture ne s'intéresse qu'à la particule arable du sol dans la mesure où il est cultivé ;
- Le Ministère de l'écologie ne s'y intéresse que s'il correspond à un espace naturel ;

¹²⁹ Ruellan A., 2006, « Sols et Développement durable », Encyclopédie du développement durable, URL : <http://encyclopedie-dd.org/encyclopedie/gouvernance/2-2-les-milieux-naturels/sols-et-developpement-durable.html>

- Le Ministère de l'équipement et du logement ne se préoccupe guère de l'artificialisation de sols dont il est le principal responsable ;
- Le Ministère de l'industrie n'est concerné que par le sous-sol minier et l'impact local des pollutions industrielles;
- L'Ademe est en charge des sols pollués.

Il n'y a donc en France **aucune approche globale du sol** en tant qu'objet multifonctionnel et patrimoine public dont la qualité et la pérennité sont essentielles pour un développement durable. Pour autant, la France interdit à l'Europe de prendre des positions sur ce sujet au titre des politiques de l'environnement.

Dans le cadre d'une transition vers une économie écologique, l'impact sur les sols d'un recours aux énergies renouvelables n'est pas négligeable : les éoliennes, et les centrales photovoltaïques sont consommateurs de surface au sol, tandis que la géothermie superficielle vient modifier les conditions thermiques avec des incidences biologiques ou autres encore peu étudiées à ce jour. L'usage de biomasse agricole pour la production d'énergie, notamment avec les procédés dit de première génération (huiles, sucres) et demain les productions de matériaux à partir de la chimie verte pose la question du modèle d'agriculture correspondant, indépendamment de la question de compétition sur l'usage des sols. Néanmoins, des solutions existent pour permettre une maximisation du déploiement des énergies renouvelables et plus généralement des technologies vertes en minimisant leur impact sur les sols. Encore faut-il que ces questions soient effectivement internalisées par les acteurs de la mise en œuvre de ces technologies, entreprises et administrations notamment.

POINT D'ETAPE : Propriété et valeur du sol : quelle législation ?

Ecosystèmes clés pour l'équilibre écologique, menacés par les choix des acteurs socio-économiques, les sols sont un bien commun insuffisamment pris en charge et protégé par les pouvoirs publics. La persistance observée dans l'artificialisation des sols depuis 1990 témoigne du manque de prise en charge politique de la question.

La gestion de cette concurrence de l'usage des sols doit passer par une évolution de l'approche du territoire : d'une séparation des espaces, dédiés à une fonction (urbain, rural, espaces naturels), à la **prise en compte de l'interdépendance entre ces fonctions** dans une perspective d'écologie territoriale. La **question de l'échelle pertinente** d'analyse pour assurer l'équilibre et les continuités entre les différentes fonctions est fondamentale, tout comme celle de la **part de contraintes règlementaires et/ou de mécanismes de marchés dans la régulation de l'occupation des sols**.

La question du foncier doit redevenir une **question sociétale et politique**, nécessitant une formation professionnelle des spécialistes mais aussi des élus. Le **renforcement des compétences des collectivités** territoriales en matière d'urbanisme et d'aménagement paraît également inéluctable afin de renouveler les modes de gouvernance du sol.

« Parmi toutes les crises d'origine sociale ou naturelle auxquelles les humains sont confrontés, la crise de l'eau est au cœur de notre survie et de la survie de notre planète Terre »,
Koïchiro Matsuura, Directeur général de l'UNESCO, 2003

La question de l'eau, bien que primordiale, fait l'objet d'une grave inertie des dirigeants face à l'urgence et la gravité des enjeux, notamment amplifiés par les impacts du changement climatique. Il est important de noter en introduction que la question de l'eau est surtout **une problématique de bassin versant et non mondiale** ; elle se pose de façon différente entre territoires, avec des possibilités faibles de compensations entre régions. La géographie de l'eau, bien renouvelable mais limitée, risque de devenir de plus en plus inégale avec les impacts des changements globaux (démographie, urbanisations, etc.) et du réchauffement climatique (moins de pluviométrie dans les deux zones tropicales, et plus intenses dans les zones tempérées,...). L'accès à l'eau devient donc également de plus en plus inégal.

Pour la France, la question de l'eau se pose à la fois en **termes qualitatifs à travers la qualité de l'eau potable et de nos milieux, et en termes quantitatifs, avec de graves problèmes de déséquilibre besoins-ressources essentiellement du fait de l'impact des irrigations, sur tout le sud-ouest et grand ouest du pays, et enfin, en termes de risques d'inondations, ou plutôt de vulnérabilité**. Les stratégies de gestion de nos eaux superficielles ou souterraines doivent enfin tenir compte de contraintes hydro-écologiques qui se traduisent par de multiples critères : débits minimaux ou objectifs de qualité à respecter sur les rivières, milieux sensibles à protéger comme les zones humides, stratégies de protection d'espèces inféodées aux milieux aquatiques (poissons, invertébrés aquatiques).

Tous ces aspects sont étroitement corrélés et impliquent des mécanismes de gestion intégrée des ressources en eau qui facilitent la mise en œuvre de solidarités entre les acteurs publics et privés impliqués par bassin versant. La France a une expérience reconnue de gouvernance en ce domaine : comités de bassin et agences de l'eau, Etablissements Publics Territoriaux de Bassin (EPTB), Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE). Ce mode de gestion a été adopté par l'Union Européenne, qui, à travers la directive cadre sur l'eau en 2000, a invité tous les Etats à mettre en œuvre des outils de gouvernance administrative et financière par bassin versant et à viser un " bon objectif de qualité écologique " pour leurs eaux superficielles.

Au-delà de ces aspects, l'eau fait partie des biens considérés comme essentiels pour l'homme, ce qui implique de résoudre des problèmes d'accès aux populations défavorisées, liés à l'aggravation de la pollution de fond à partir de polluants persistants et d'un risque de réduction des volumes d'eau réellement potable. S'y ajoute, avec le changement climatique, la question de l'adaptation aux phénomènes extrêmes, avec la nécessité d'anticiper des contrastes croissants entre saisons sèches toujours plus sèches et saisons humides toujours plus humides, posant de nouveaux problèmes de stockages, sans doute solubles par un recours accru aux eaux souterraines (y compris par stimulation des aquifères).

Il est peu d'activités humaines qui ne soient utilisatrices d'eau. Il est habituel de classer ces usages en quelques groupes majeurs qui répondent à des exigences et conditions d'utilisation particulières : **eaux domestiques**, **eaux industrielles** dont eaux à usage énergétique (refroidissement et hydroélectricité), **eaux agricoles** dont eaux d'irrigations. Pour la commodité des commentaires, on distingue également les contraintes en termes de **quantité** ou de **qualité** des eaux, même si ces deux aspects de la gestion des eaux sont étroitement liés et dépendants. Les contraintes dominantes peuvent être quantitatives (irrigations, énergie) ou qualitatives (eaux potables, industries, élevages).

L'énergie (centrales hydroélectriques, unités de refroidissement) et les irrigations sont les deux utilisations majeures de l'eau au plan mondial. Une grande variété de besoins unitaires - par usager ou unité de production- se rencontre dans le monde selon le comportement des usagers, le niveau de développement des pays et les contraintes climatiques (pression sur les ressources en eau). Ces concepts servent de référence pour évaluer si les demandes sont faibles (situations de restriction) ou excessives (gaspillages) et pour projeter des demandes futures. Des situations de restriction et de gaspillage peuvent coexister, ce qui est le cas de beaucoup de pays pauvres où les moyens d'entretenir les installations ne sont pas réunis, sans que les besoins élémentaires puissent être considérés comme satisfaits.

L'eau en quelques chiffres : une géographie inégale

Les ressources en eau, offertes par les flux du cycle de l'eau planétaire et non par les stocks de l'hydrosphère, sont essentiellement des ressources renouvelables, à la différence d'autres ressources minérales. Globalement, le flux moyen de toutes les eaux continentales superficielles et souterraines en circulation - ce qu'on appelle maintenant les « eaux bleues » - , est de l'ordre de 45.000 milliards de m³ annuels. C'est à la fois la différence entre les précipitations sur les terres émergées et l'évapotranspiration émise et le débit global retourné aux océans. Mais ce chiffrage global est une vue de l'esprit, car **sa répartition sur les terres émergées est le contraire de l'uniformité, dans l'espace et de la constance dans le temps.** Dans l'espace, ces flux par km² varient de 1000 à 10 millions de m³ annuels (de 1 mm à 10 m en hauteur d'eau annuelle locale engendrée). Cumulés par pays, ils s'échelonnent de 8 000 milliards de m³ annuels (Brésil) à 20 millions de m³ annuels (Koweït). **En particulier, les zones arides et semi-arides qui s'étendent sur près du tiers des continents, ne recueillent que 2,5 % de ce flux global.** Les variations dans le temps sont aussi amples et font alterner les sécheresses et les inondations dans beaucoup de régions, rendant les moyennes très théoriques. Cette répartition très inégale et irrégulière des eaux terrestres est bien antérieure à l'apparition de l'homme. Aussi, les inégalités de ressources en eau potentielle par habitant souvent déplorées – elles varient à présent de 50 à 1 000 000 m³ annuels en moyenne par tête, suivant les pays – résultent d'abord du fait que l'humanité s'est répartie sans s'adapter aux variétés d'occurrence terrestres de l'eau, surtout dans les temps modernes. Ainsi, 20 % de la population mondiale vit dans les zones arides et semi-arides où les ressources en eau moyennes par habitant sont inférieures à 1 000 m³ annuels : le dixième de la moyenne mondiale.

La moyenne mondiale d'utilisation de l'eau, de l'ordre de 600 m³/hab/an, recouvre une gamme très large d'utilisations entre pays sous consommateurs à demande faible (moins de 100m³/hab/an : Malte, Singapour, pays de l'Afrique sub-tropicale et équatoriale) et pays gros consommateurs, à

demande forte (plus de 1000 m³/hab/an : Egypte, Pakistan, Iran, Canada, USA, Chili, Argentine, Australie, Irak, Azerbaïdjan, Ouzbekistan, Sibérie).

Il est important de bien distinguer les notions de "richesse en eau" et les notions de "pression sur les ressources" (usage /ressources renouvelables). Le second critère est primordial comme l'illustre le cas en Asie avec de bonnes ressources mais de fortes pressions démographiques.

Pour s'approvisionner en eau, les populations se « branchent » depuis toujours sur toutes les étapes du cycle de l'eau : de la récolte directe d'eau pluviale¹³⁰ et des essais de récupération de la rosée, au captage des sources et aux prises au fil de l'eau des rivières, à la maîtrise des eaux fluviales irrégulières par des barrages-réservoirs, au puisage ou pompage des eaux souterraines, voire à leur exploitation par galerie, comme les *qanâts* persans, ou par forage artésien, jusqu'au dessalement d'eau de mer. **Actuellement, l'humanité prélève à peine 10 % de l'écoulement mondial, mais une part bien plus grande, de l'ordre d'1/3, des ressources mobilisables suivant des critères à la fois technico-économiques et environnementaux, donc des ressources réelles.** Les quantités d'eau prélevées actuellement pour toutes utilisations, sont chiffrées globalement autour de 4 000 milliards de m³ annuels, et sont tout aussi différenciées par pays que les ressources. Elles varient par habitant, calculées en moyenne par pays, de quelques m³ à plus de 5 000 m³ annuels (record mondial en Turkménistan, minimaux en Afrique centrale), sans relation avec les ressources locales ni avec les niveaux de développement socio-économique.

En France, on utilise environ le quart des écoulements. Ce qui compte tenu des débits à préserver pour un fonctionnement correct des rivières et des volumes d'eaux d'inondation est considéré comme un objectif raisonnable de gestion de nos milieux aquatiques. La connaissance des demandes et des ressources en eau est cependant très inégale entre pays et secteurs d'utilisation. Les statistiques disponibles ne portent généralement que sur les volumes prélevés. Les consommations, c'est-à-dire les volumes soustraits aux milieux naturels, font l'objet d'estimations par grands types d'usages. Les eaux souterraines ne sont pas toujours bien connues, alors que les aquifères prendront une place croissante dans l'économie de l'eau future, du fait du changement climatique.

Mesurer l'impact des activités humaines sur les milieux aquatiques implique de recourir à de multiples critères :

- Sur la qualité des eaux :
 - o Indicateurs teneurs en Oxygène dissous / pollutions biodégradables : matières organiques, eutrophisation /nitrates, phosphates
 - o Toxiques persistants / métaux lourds, composés halogénés
 - o Indicateurs biologiques : poissons, indices biologiques (présence invertébrés)
 - o Santé humaine pour eau potable : indicateurs spécifiques (Escherichia coli, etc.)
- Sur les ressources :
 - o Débits objectifs d'étiage, modules, écoulements
 - o Indices d'exploitations /prélèvements et consommations

¹³⁰ cf. la pratique ancienne de l'impluvium des maisons grecques et romaines en voie de renaissance

L'utilisation prédominante est *l'irrigation (66 % au plan mondial, 90 % en zone aride et semi-aride)*¹³¹ étendue à ce jour sur 275 millions d'hectares. Elle est consacrée en grande majorité aux productions alimentaires (y compris pour la nourriture du bétail). La part des irrigations dans les consommations estimées est largement dominante dans tous les pays faisant appel à l'eau dans les productions agricoles. Elle est plus faible en Amérique du Nord et en Europe de l'Ouest dans l'ensemble des volumes consommés qu'en Asie, du fait de la forte consommation en eau des productions rizicoles.

Si les irrigations constituent un moyen très efficace d'augmentation de la production agricole (40% de la production mondiale sur 17 % des terres irriguées), elles peuvent conduire à de graves problèmes de déséquilibres des ressources en eau qui impliquent la réalisation d'infrastructures lourdes (barrages, canaux...)

L'efficacité des irrigations dans le monde est généralement jugée assez faible et de gros progrès d'économies d'eau seraient possibles par une meilleure gestion des besoins des plantes ce qui implique la mise en place de réseaux d'alertes et de formation des agriculteurs qui ne sont en place que dans les pays les plus développés. Selon la FAO, un gain de 20 % de l'efficacité des irrigations pourrait être atteint par des changements de techniques (aspersion et goutte à goutte) et une meilleure conduite des équipements (avertissements agro-météorologiques, formation des irriguants). Les irrigations excessives conduisent à la **salinisation des sols** qui est une menace grave pour de nombreuses régions (vallée de l'Indus, mer d'Aral, bassin de la Murray en Australie).

Les besoins en eau à usage énergétique sont comptabilisés généralement uniquement au titre des eaux de refroidissement (centrales thermiques et nucléaires). L'hydroélectricité mobilise des volumes d'eau importants, mais restitue l'ensemble des volumes prélevés : elle a un impact sensible sur le régime d'écoulement des eaux (barrages, dérivations) mais relativement mineur, globalement, sur le cycle quantitatif. Les besoins des eaux de refroidissement mobilisent des volumes d'eau importants et rapidement croissants avec le développement économique.

Les besoins industriels sont en baisse sensible dans les pays les plus développés mais restent en croissance forte dans beaucoup de pays émergents. Dans les pays développés, les utilisations d'eaux industrielles, y compris pour le refroidissement des centrales thermo-électriques classiques et nucléaires se montent à près de 20 % du total mondial. Avec le changement climatique, les périodes sèches plus fréquentes et plus intenses pourraient poser des problèmes pour assurer le refroidissement des centrales nucléaires.

La connaissance des rejets reste encore très imparfaite dans la majorité des pays en développement où l'on note en revanche une dégradation très forte des milieux récepteurs.

La connaissance des usages (prélèvements et rejets) et la diffusion des techniques les plus performantes constituent un facteur de progrès essentiel pour une meilleure maîtrise des eaux.

¹³¹ Les chiffres varient sur le sujet à cause de l'imperfection de la connaissance des consommations réelles au niveau mondial. La synthèse établie par l'OMM des connaissances de diverses organisations des Nations Unies conduit à estimer que les irrigations représenteraient plus de 90 % des eaux soustraites aux milieux naturels.

Les distributions d'eau potable, généralisées dans les agglomérations urbaines et rurales des pays développés, utilisent à peine 10 % du total mondial. La qualité de services est très inégalement répartie de par le monde, inégalité qui pose questions en matière de droit d'accès à l'eau, d'égalité de genre, etc.

Au regard des autres usages, les besoins quantitatifs pour les eaux domestiques sont donc relativement faibles mais souvent mis en péril par la dégradation de la qualité des eaux (notamment polluants persistants et traces de sous-produits de dégradation des pesticides).

Les données statistiques disponibles d'usage de l'eau, en termes de prélèvements, consolidées par le World Research Institut en 1994-96, conduisaient aux valeurs suivantes par grande région géographique:

	Agriculture %	Domestique %	Industrie %	Total km ³ /an	Besoins m ³ /hab/an
Afrique	88	7	5	144	245
Asie	86	6	8	1 531	519
ex-URSS	65	7	28	358	1 280
Europe	33	13	54	359	713
Amérique N et C	49	9	42	697	1 861
Océanie (y c Australie)	34	64	2	23	905
Amérique Sud	59	19	23	133	478
Monde	69	8	23	3 240	644

Source: WRI, 1994-1996

La plus grande partie des eaux industrielles et domestiques sont restituées aux milieux naturels (y compris dans le secteur énergétique), alors qu'une grande partie des eaux d'irrigation est consommée par évaporation ou par les plantes. **La croissance des populations et le développement de l'urbanisation génèrent de nombreuses situations de conflits entre besoins domestiques et agricoles.**

Les eaux continentales sont également sujettes à des degrés de pression quantitative très variés, mais généralement croissants. **Les ratios prélèvements/ressources potentielles renouvelables s'échelonnent suivant les pays de 1 à 100 % et même dépassent 100 % lorsque des déstockages des réserves d'eau souterraine ont commencé.** Plus de la moitié de ces prélèvements, sans doute environ 2 500 km³/an à présent, est consommée, c'est-à-dire non retournée au milieu naturel après usage à l'état liquide (mais non détruite : elle retourne au cycle de l'eau dans l'atmosphère, par évapotranspiration) principalement, de beaucoup, par les utilisations agricoles : les irrigations

déterminent l'essentiel (93 %) des consommations nettes des « eaux bleues » prélevées. S'y ajoutent les pressions sur les qualités par les retours d'eaux usées et les multiples pollutions.

Ainsi l'humanité n'est plus seulement tributaire des eaux continentales pour sa vie, mais aussi pour bon nombre de ses activités et notamment son développement économique. Or les activités humaines influencent profondément le fonctionnement du cycle de l'eau.

Le cycle de l'eau dénaturé ?

Pendant des millénaires, les êtres humains ont adapté leur habitat et leur mode de vie à la variété de répartition des eaux terrestres, dans l'espace comme dans le temps, pour s'en servir ou pour s'en défendre. **La géographie humaine a longtemps reflété la géographie de l'eau.** Les utilisations humaines de l'eau, peu croissantes comme les populations, n'avaient que des impacts négligeables, compatibles avec les besoins des autres convives de la biosphère et avec les potentiels de reproduction naturelle. Avec la révolution industrielle, on a dépassé les conditions naturelles pour s'approvisionner en eau, en cherchant à « aménager et maîtriser » les eaux. **En moins d'un siècle, sous la pression de besoins en eau en forte croissance, l'humanité a davantage aménagé et mobilisé les eaux terrestres que durant les millénaires antérieurs.** Dans une large partie du monde, l'exploitation des eaux a commencé à transformer significativement leur régime et à perturber leurs fonctions naturelles dans la biosphère.

❖ Les barrages : controverses sur les perturbations des milieux

Aujourd'hui, plus de 50.000 grands barrages (de hauteur supérieure à 15 mètres) rompent la continuité et artificialisent le régime de milliers de cours d'eau sur tous les continents et quelques 300 nouveaux s'y ajoutent chaque année (sans compter au moins 100.000 barrages plus petits). Sur les 230 principaux cours d'eau du monde, près de 60 % sont largement ou modérément fragmentés par des barrages, ou endigués¹³². Les réservoirs ont été multipliés, dont plusieurs géants dépassant 100 milliards de m³. Le volume total des réservoirs artificiels dans le monde dépasse 7 000 milliards de m³, régularisant quelques 2 500 milliards de m³ par an, soit 8 à 10 % des écoulements superficiels irréguliers terrestres ; leurs superficies totalisent en moyenne 500 000 km² et ils consomment par évaporation 210 km³/an. Les irrigations ont déjà fait croître de 3 à 4 % l'évapotranspiration naturelle des terres émergées. Le drainage et l'assèchement de terres et zones humides ont aussi progressé sur de grandes étendues. Les voies d'eau artificielles ont déstructuré les réseaux hydrographiques. Des transferts d'eau massifs entre bassins ont été réalisés sur de grandes distances.

La question des barrages est très controversée, car si les barrages sont un moyen puissant de régularisation des débits, ils perturbent grandement les milieux dans lesquels ils sont construits.

La majorité de nos grandes rivières dans le sud de la France n'ont de l'eau en été que grâce à des lâchures d'eau provenant de stockages d'eaux excédentaires. La régularisation des eaux de la Seine à Paris n'est possible que grâce à l'effet conjugué des grands barrages réservoirs en amont de Paris, qui maintiennent à la fois un débit minimum au fleuve et protègent la capitale contre les inondations

De nombreux dommages écologiques potentiels peuvent être évoqués (cf. encadré).

¹³² World Water Development Report 3, UN/UNESCO 2009

Les dommages potentiels des barrages à l'écologie des rivières sont nombreux

Débits réservés : En période d'étiage, les ouvrages doivent laisser passer un débit, qualifié de débits réservés, pour la salubrité de la rivière et les besoins des tiers à l'aval. Ce débit doit être au minimum le dixième du module. Le débit réservé est souvent insuffisant car inférieur aux débits naturels d'étiage.

Eclusées : les lâchures d'eau, à l'aval des ouvrages hydroélectriques, entraînent des remontées brutales de débits (mini crues).

Vidanges : Périodiquement, les retenues doivent être vidées pour une inspection des ouvrages. Ces vidanges s'accompagnent d'évacuations lourdes de sédiments qui peuvent être catastrophiques pour les milieux naturels (la vidange de Grangent, à l'aval de Saint-Etienne, en 1967, a libéré une grande quantité de boues toxiques et pollué la Loire sur plus de 400 kilomètres). Aujourd'hui, les vidanges sont effectuées avec beaucoup de précaution (cf. vidange de Pareloup sur le Tarn).

Obstacles : les barrages constituent un obstacle majeur pour les poissons. Depuis la loi pêche, les maîtres d'ouvrage ont obligation d'équiper les barrages d'ouvrages de franchissement sur les axes désignés pour les migrations. Les nouveaux ouvrages intègrent systématiquement ce type d'équipements. L'efficacité des ascenseurs et échelles à poissons est cependant limitée. Ce phénomène est accentué par des chaînes de barrages qui occupent le lit de certaines rivières (Lot-Truyère, Allier, Loire, Durance, Isère). La multiplication des microcentrales a aggravé la situation (plus de 20 ouvrages sont recensés sur le Lot sur à peine 70 kilomètres de cours d'eau). Le Ministère de l'environnement a obtenu récemment que trois barrages soient effacés : Maison-Rouge (Vienne), Kernos-Guirec (Bretagne), Saint-Etienne-du-Vigand (Gard).

Transports de matériaux : l'essentiel des matériaux (graviers, granulats) provient des torrents de montagne. Les barrages créent des coupures dans les transports de ces matériaux qui accroissent les effets négatifs des extractions de granulats dans les vallées.

Pertes en eau : l'évaporation des lacs de retenue conduit à une perte de l'ordre de 20 à 25% des apports dans nos climats tempérés, pertes qui peuvent être considérablement accrues en climat aride (80 à 90% pour de grandes retenues comme Assouan en Egypte)

Echauffement des eaux : les lacs de petite retenue subissent un échauffement important. C'est une nuisance considérée comme importante par les pêcheurs qui estiment que la multiplication de retenues collinaires conduit à transformer des rivières de première catégorie (salmonidés) en rivières de deuxième catégorie (cyprinidés). Sur les grandes retenues, on peut lutter contre ce phénomène en installant des prises d'eau étagées qui permettent de prélever des eaux de fond plus fraîches que les eaux de surface.

Qualité de l'eau : les lacs de retenue sont des accélérateurs naturels de pollutions (accumulation de toxiques dans les sédiments, eutrophisation). Cette situation qui n'était pas un problème sur les lacs d'altitude alimentés par des eaux peu chargées est devenue difficile à maîtriser sur certains ouvrages récents construits dans les vallées. Le lac du barrage de Villerest, promis par ses promoteurs en 1982 à un brillant avenir touristique, est devenu rapidement un cloaque atteint par l'eutrophisation.

Les barrages font l'objet de vives critiques, parfois excessives, souvent exagérées. Sans les lâchures d'eaux, beaucoup de nos rivières de piémont ne seraient, en été, que de maigres ruisselets et nos rivières de plaine, de vastes milieux pollués. **Les barrages permettent également de produire de l'hydroélectricité, énergie relativement propre et renouvelable (cf. ci-dessous).**

❖ **L'exploitation des eaux souterraines : controverses sur les effets externes préjudiciables**

L'exploitation des eaux souterraines est particulièrement croissante au cours de la seconde moitié du XX^e siècle, concentrée dans quelques pays (Inde, Chine, Etats-Unis, Bangladesh, Pakistan, Iran et Mexique) et atteint à présent 1 000 km³/an. En un siècle, plus de 1 000 km³ d'eau ont été soustraits aux réserves de différents aquifères, principalement en Inde, en Arabie-Saoudite et aux Etats-Unis, ce qui est sans doute infime au regard des réserves globales – à peine un dix-millième – mais significatif localement en déterminant des baisses de niveau de plus de 100 m pour plusieurs cas, ce qui a généré des **ruptures locales du cycle de l'eau et des effets externes préjudiciables** : tarissement de sources, invasion d'eau de mer dans les aquifères littoraux, subsidences et affaissement du sol (plus de 10 m à Mexico ...). Cette situation est d'autant plus déplorable qu'on assiste souvent dans les mêmes zones à **d'importants gaspillages de l'eau**. Les politiques d'économie d'eau doivent constituer une priorité à la fois pour épargner les ressources et réduire le coût des traitements.

Néanmoins, les eaux souterraines représentent un potentiel important, pas toujours exploitées comme elles le devraient. Dans bien des cas, un usage plus important de l'eau souterraine pourrait être développé, moyennant une meilleure gestion des ressources. En outre, dans la perspective du changement climatique, les aquifères seraient susceptibles de rendre les services nécessaires à l'adaptation.

Les quantités d'eau détournées du milieu naturel par l'humanité pour toutes utilisations ont plus que sextuplé au cours du XX^e siècle et les consommations ont augmenté presque autant. Dans nombre de bassins, ces consommations, jointes aux « immobilisations » par les stockages dans les réservoirs d'accumulation, ont ainsi détourné de leur exutoire primitif une partie appréciable des eaux continentales qui ne participe plus au grand cycle de l'eau via les océans. Par exemple, la Méditerranée a perdu environ 75 milliards de m³/an (15 à 20 % de ses apports naturels anciens, dont plus de 50 % des apports de sa rive Sud et 90 % du seul Nil ...).

- Au-delà du détournement des flux d'eau naturels, on utilise également leur énergie : l'hydroélectricité exploitée à présent déjà **17 % du potentiel hydraulique « sauvage » global** (estimé à 15 000 TWh/an) et cette part croît sans cesse,
- **L'agriculture pluviale (non irriguée)** est aussi branchée sur le cycle de l'eau, en participant à l'évapotranspiration des sols et des végétaux, ce qu'on appelle maintenant l'« eau verte », qui consomme aujourd'hui plus de 5 500 km³/an dans le monde : deux fois plus que les prélèvements pour l'irrigation, sans compter la consommation des pâturages et des forêts exploitées.

Les quantités d'eau retournées après usage, notamment les eaux usées urbaines et industrielles, très inégalement épurées, ont été accrues d'autant et sont une source majeure de dégradation des qualités des eaux des milieux récepteurs, y compris des eaux marines littorales. Dans les pays développés surtout (mais pas seulement), on pollue sensiblement plus d'eau qu'on en utilise : un m³ d'eau prélevé puis rejeté après usage peut en polluer cinq à six fois plus dans les cours d'eau récepteurs.

Plus indirectement, les activités humaines et les modes d'occupation du sol ont aussi concouru à transformer les régimes et les qualités des eaux naturelles : impacts de l'urbanisation, des transports, de l'agriculture intensive, du déboisement ou du reboisement, des industries

extractives, des déchets... Naturellement, l'ampleur des pressions humaines sur les eaux de la nature et les degrés de leur artificialisation varie beaucoup suivant les régions du monde. Elle est plus élevée dans les régions aux eaux peu abondantes, notamment en zone aride et semi-aride, et à forte population. Dans ces régions, plusieurs grands fleuves sont détournés et utilisés en quasi-totalité et n'aboutissent presque plus à leur exutoire naturel : Colorado, Nil, Euphrate, Amou-Daria et Syr-Daria ; le cas des deux derniers est le plus spectaculaire, parce qu'ils se déversaient dans une mer fermée, la mer d'Aral en voie de disparition, comme c'est aussi le cas du Jourdain par rapport à la mer Morte et aussi en partie celui du lac Tchad ; mais la pression sur beaucoup d'autres cours d'eau est tout aussi forte.

L'homme est devenu ainsi un agent non négligeable du cycle de l'eau, dont nombreuses activités dépendent, qu'elles soient économiques, de loisirs ou alimentaires. L'avenir de cette exploitation est un objet majeur de prospective, indissociable de l'avenir des approvisionnements en eau de l'humanité.

❖ La pression sur les ressources en eau en perspective

La FAO estime que les ressources nécessaires pour nourrir les populations sont de l'ordre de 2 000 m³/hab/an, ce qui implique des ressources hydriques sensiblement supérieures, puisque l'essentiel des volumes de crues ne sont pas mobilisables et qu'une partie des débits d'étiage doivent être réservés à la salubrité des rivières. Dans nos pays tempérés, les irrigations mobilisent des besoins sur trois à quatre mois aux époques de faible ruissellement.

	Ruissellement			Ressources hydriques 1000 m ³ /hab/an		
	Volume km ³	%	Débit spéc l/km ²	1960	1980	2000
Afrique	4 570	10	4.8	16.5	9.4	5.1
Asie	14 410	32	10.5	7.9	5.1	3.3
Australie	348	1	1.4	28.4	19.8	15.0
Europe	3 210	7	9.7	5.4	4.6	4.1
Amérique du Nord et Canada	8 200	18	10.7	30.2	21.3	17.5
Océanie	2 040	5	51.1	132.0	92.4	73.5
Amérique du Sud	11 760	27	21.0	80.2	48.8	28.3
Monde	44 538	100	10.4	13.7	9.7	7.1

Source : Shiklomanov, 1996

La combinaison des indicateurs ressources disponibles et des pressions met en évidence que l'Europe et une partie de l'Asie et de l'Afrique doivent gérer, dès aujourd'hui, des contraintes hydriques fortes et que certains pays seront bientôt en situation de pénurie. C'est, notamment le cas de tous les pays de la rive sud de la Méditerranée dont certains sont sous la menace de consommer leurs ressources renouvelables. Il est difficile d'établir des diagnostics généraux pour les grands pays (Chine, Inde, USA) où coexistent des territoires abondamment arrosés et d'autres secs.

Ces contraintes se traduisent par des exigences importantes :

- **organiser des systèmes d'allocation optimale des ressources**, en particulier pour préserver les besoins domestiques (eau potable et hygiène publique) ;
- **réaliser des infrastructures collectives lourdes et coûteuses** - barrages, canaux, ouvrages de transferts - pour faire face au développement de nouveaux secteurs irrigués ;
- **investir dans l'amélioration et une meilleure conduite des équipements actuels.**

Indices d'exploitations, indices de consommations

Les ressources en eau renouvelables peuvent être estimées à partir d'un bilan des apports fluviaux à la mer, ou par la différence entre les pluies et l'évapotranspiration. Ces données sont corrigées des apports et exportations d'eaux entre pays.

L'évaluation de l'impact des activités humaines sur le cycle de l'eau peut être estimée en termes :

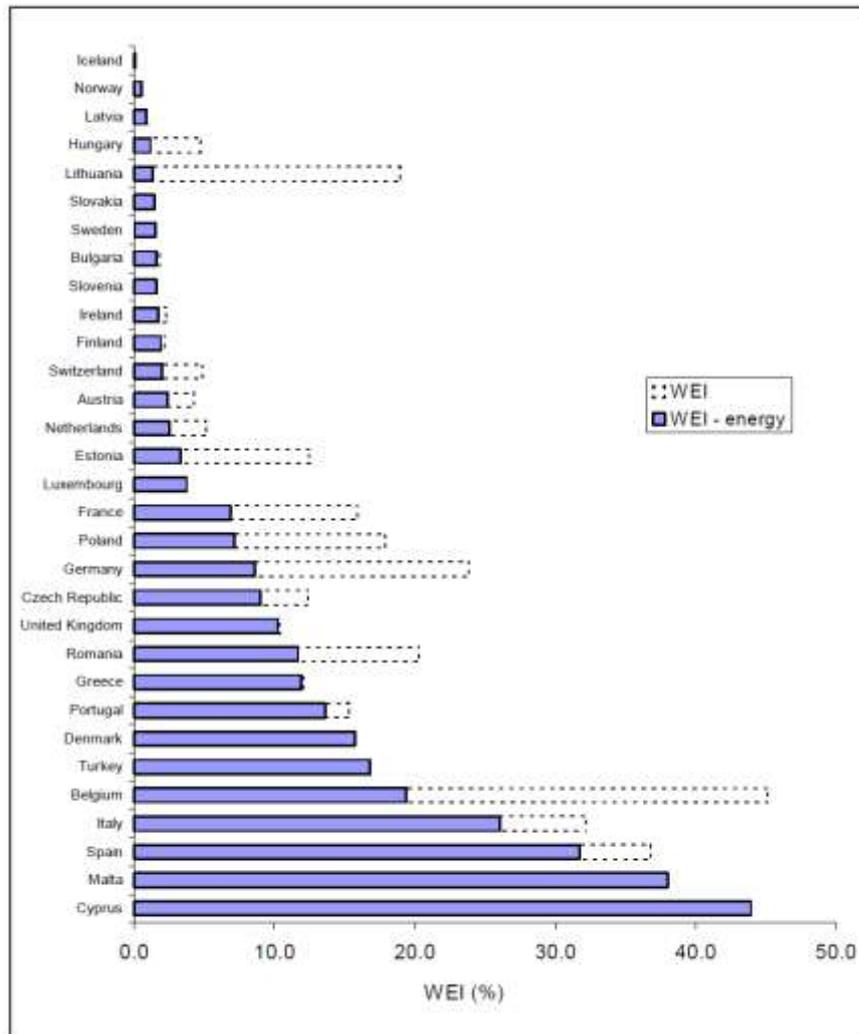
- d'indice d'exploitation : eaux prélevées/ressources renouvelables
- d'indice de consommation finales : eaux consommées/ressources renouvelables.

Seule une faible partie de la ressource renouvelable est aisément utilisable : d'une part les écoulements en période d'irrigation sont naturellement très inférieurs aux écoulements moyens des rivières (moins de 25 % des écoulements annuels moyens), d'autre part il est nécessaire de maintenir des débits minimaux en rivière, pour l'écologie et la salubrité, représentant couramment plus de la moitié des débits d'étiage. On considère que, pour des indices d'exploitation :

- de moins de 10 %, il n'y a pas de tension sur les ressources en eau ;
- entre 10 et 20 %, il y a des tensions de ressources en eau ;
- entre 20 et 40 %, des systèmes de régulation doivent être mis en place (ouvrages de régularisation, économies d'eau) ;
- au delà de 40 %, les tensions mettent en péril les ressources renouvelables.

Figure 81 : Indices d'exploitation de l'eau en Europe en 2003

Water exploitation index across Europe



Source: Indicator Fact Sheet, (WQ01c) Water exploitation index, EEA, version 01.10.03. Authors: Conchita Marcuello and Concha Lallana, CEDEX

Dans le groupe des pays de l'OCDE, la moyenne des utilisations à partir des ressources renouvelables est de 11 %.

- 7 pays utilisent plus de 20 % des ressources renouvelables : Japon, Corée, France, Allemagne, Grèce, Italie, Espagne.
- 8 pays utilisent plus de 10 à 20 % des ressources renouvelables : Mexique, USA, République tchèque, Danemark, Pologne, Portugal, Turquie, Pays-Bas.
- 11 pays utilisent moins de 10 % des ressources renouvelables : Canada, Australie, N.-Zélande, Finlande, Hongrie, Irlande, Pays-Bas, Suède, Norvège, Suisse, Slovaquie, Royaume-Uni.

Pour de nombreux pays, l'essentiel des irrigations concerne une partie limitée du territoire (sud du territoire en France, par exemple). **Les tensions locales sont souvent beaucoup plus fortes que ne l'indiquent les indices nationaux.** Les pays où les prélèvements pour irrigations représentent plus de 50 % de l'ensemble des prélèvements sont les suivants : Mexique, Japon, Grèce, Corée, Nouvelle-

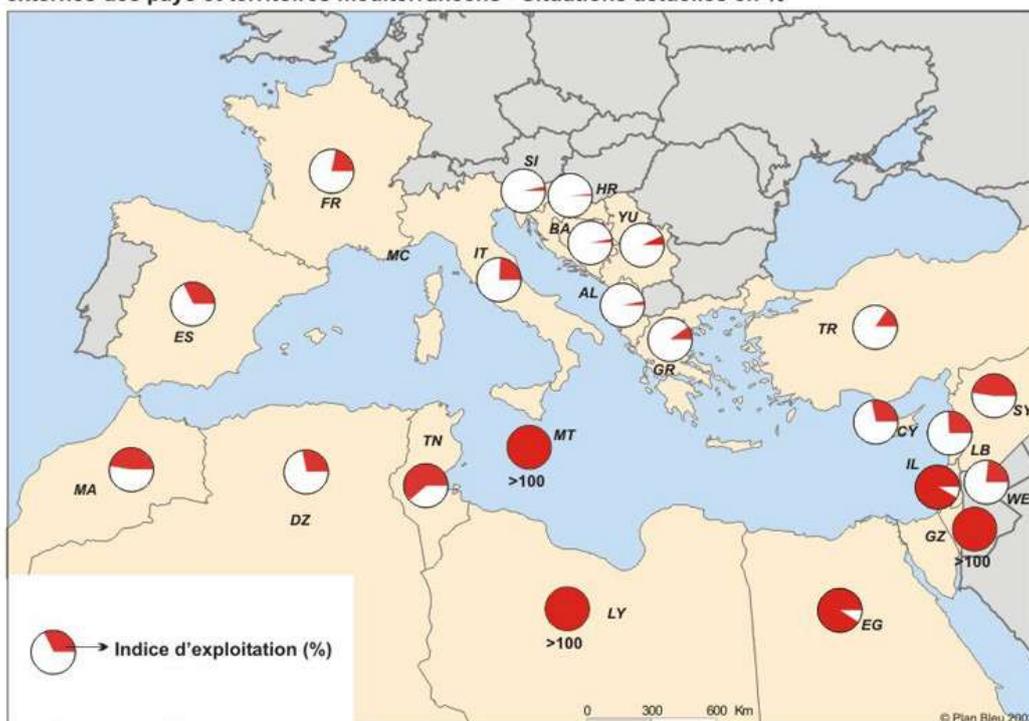
Zélande, Espagne et Turquie. **Les irrigations conduisent dans de nombreux pays à un déséquilibre de la gestion globale des ressources en eau et à de nombreux conflits d'usage.**

La situation méditerranéenne est caractéristique d'une région de conflits sur les ressources en eau mal maîtrisées. L'optimisation de l'allocation des ressources en eau n'est généralement pas faite. Des économies d'eau très importantes pourraient être mises en œuvre pour une efficacité équivalente des irrigations. Le coût des ouvrages induits est rarement répercuté auprès des usagers.

A l'occasion de la Conférence Euro-Méditerranéenne de 1996, le Plan Bleu¹³³ a mis en évidence que plus de sept pays du sud de la Méditerranée (Lybie, Palestine, Egypte, Jordanie, Israël, Tunisie, Chypre) ont des indices d'exploitation proches (ou supérieurs) de 100 % et des indices de consommations proches (ou supérieurs) de 80 %, ce qui traduit un appauvrissement des ressources renouvelables.

Figure 82 : Indices d'exploitation des ressources en eau naturelles renouvelables dans le pourtour méditerranéen

Indices d'exploitation des ressources en eau naturelles renouvelables, internes et externes des pays et territoires méditerranéens - Situations actuelles en %



Source : Indices d'exploitation du pourtour méditerranéen, Plan Bleu, 2002¹³⁴

❖ Les pressions sur la qualité des milieux

La dégradation de la qualité des eaux dans les zones densément habitées ou industrialisées est un problème commun à tous les pays, y compris pour les pays riches en eau (Afrique équatoriale, Brésil, Colombie, Venezuela, Indonésie, Vietnam). Les problèmes sanitaires sont récurrents dans la plupart des pays en développement, l'eau étant un vecteur privilégié de nombreuses maladies.

La préservation de la qualité des ressources est l'autre critère à l'aune duquel peut être jugée la pression des usages. La dégradation de la ressource doit être considérée comme une consommation,

¹³³ Organisme de prospective du PNUE pour la Méditerranée.

¹³⁴ URL : <http://www.planbleu.org/donnees/eau/carte/carteEau.html>

soit qu'elle rende inapte les eaux à certains usages prioritaires, comme l'eau potable, à défaut de systèmes de traitements sophistiqués, soit qu'elle entraîne des désordres écologiques qui ont pour conséquence une régression de la vie aquatique (pêche) et des mécanismes régulateurs des milieux aquatiques (auto-épuration), soit que l'eau parfois devienne source de dangers pour l'homme (maladies, toxiques). Les techniques de traitement des eaux permettent de faire face aux principaux problèmes de pollution pour la satisfaction des besoins humains. Ces techniques nécessitent des installations complexes avec un personnel spécialisé qui enchérit rapidement le prix de l'eau. Cela explique le recours, pour de nombreux usages, à l'utilisation d'eaux souterraines et en particulier des eaux profondes protégées des pollutions de surface.

La situation est très inégale entre pays riches et pauvres. Les pays industrialisés produisent beaucoup de pollutions, mais disposent d'installations de dépollutions développées, les pays en développement et les moins avancés notamment doivent faire face à des concentrations fortes de pollutions (villes en expansion, industries) sans disposer des systèmes de dépollution. Les principaux foyers de pollutions (sans que l'on puisse considérer cette liste comme exhaustive) s'exerçant sur les milieux naturels peuvent être décrits comme suit :

Type de pollutions	Activités dominantes	Indicateurs
Physique		
- Pollution thermique	Centrales thermiques	Température
- Pollutions mécaniques	Mines, carrières, extractions de graviers, industries	Matières en suspension
Organiques et oxydables		
MO fermentescibles et MOX	Effluents domestiques, élevages, agro-alimentaire, pâte à papier	Oxygène dissous, DBO, DCO, glucides, lipides, protides
Chimique		
- Fertilisants	Agriculture, lessives	Nitrates, phosphates
- Métaux et métalloïdes	Mines, traitements des métaux, mégisseries, agriculture, combustion	Pb, Cu, Zn, Cr, Cd
- Pesticides	Agriculture	
- Hydrocarbures	Industries pétrolières, transports	
- Organochlorés	Industries	
- Micropolluants organiques de synthèse	Industries	Très nombreuses molécules
Pollutions microbiologiques		
	Effluents domestiques, élevages, agro-alimentaire, hôpitaux	Germes fécaux

Les pressions quantitatives et qualitatives des usages sont étroitement liées. L'assèchement est un facteur de dégradation important de la qualité des eaux. A ce titre, les irrigations ont un impact majeur sur la qualité des eaux par les effets de réduction des débits en rivière en période d'étiage.

Ressources, sources d'approvisionnement et utilisations d'eau en zones de stress hydrique majeur (zones arides et semi-arides)

Quelle place prennent les zones arides et semi-arides dans le monde de l'eau ? Les zones arides et semi-arides s'étendent sur 30 % des terres émergées mais ne recueillent que 2,5 % des eaux continentales renouvelées par le cycle de l'eau planétaire, plus à peu près autant d'apports externes venant des zones humides par les fleuves transfrontaliers mais inégalement disponibles. Un cinquième de la population mondiale y vit et n'est dotée en propre que de 900 m³/an en moyenne par tête (12 % de la moyenne mondiale) ; tandis qu'on y prélève environ 900 km³/an, soit 23 % du total mondial actuel (environ 4000 km³/an), dont 89 % est utilisé pour l'irrigation (au lieu de 66 % en moyenne dans le monde). **Les ressources en eau renouvelables potentielles internes futures, même si elles restaient stables, devraient s'abaisser à 450 m³/an par tête en 2050 du fait de la croissance démographique, donc bien au-dessous du seuil de pénurie conventionnel de 1000 m³/an par tête.**

Concernant les zones de stress hydrique, l'aridité réduit beaucoup les ressources en eau potentielles internes et amplifie la part des ressources externes, supérieures à 50 % dans plusieurs pays.

L'aridité accroît sensiblement les demandes en eau par habitant et augmente fortement les pressions sur les ressources en eau renouvelables, tandis qu'elle fait monopoliser les exploitations d'eau fossile. Elle fait augmenter surtout les demandes en eau d'irrigation et réduit beaucoup les demandes à finalité énergétique (malgré l'essor moderne de la climatisation...). Toutefois, malgré leur communauté climatique, les pays et territoires situés en zone aride et semi-aride sont loin de constituer un ensemble homogène. Aussi, des analyses régionalisées restent primordiales.

Au XXI^e siècle, une aggravation des situations de pénurie d'eau imputable à la fois à des appauvrissements de ressources, déterminés par le changement climatique et par les risques de diminution des ressources externes (du fait de consommations accrues dans les pays émetteurs) et à la croissance des demandes inhérente à l'expansion démographique, n'en est pas moins certaine.

L'impact du changement climatique sur la ressource en eau

Il est largement prouvé par des relevés d'observations et des projections climatiques que les sources d'eau douce sont vulnérables et auront à souffrir gravement du changement climatique, avec de grandes répercussions sur les sociétés humaines et sur les écosystèmes. Le changement climatique a ainsi pour grave conséquence de réduire la quantité d'eau douce disponible dans de nombreuses régions du monde, la rendant de plus en plus précieuse.

Plusieurs évolutions sont d'ores et déjà pointées quant aux impacts du changement climatique sur la ressource en eau. Nous reprenons ici les conclusions du document technique du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat¹³⁵, présentées dans le résumé exécutif¹³⁶ :

- « Le réchauffement observé pendant plusieurs décennies a été relié aux changements survenus dans le cycle hydrologique à grande échelle, notamment: l'augmentation de la teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère, la modification de la configuration, de l'intensité et des extrêmes des précipitations, la diminution de la couverture neigeuse et la fonte des glaces accrue, ainsi que la modification de l'humidité du sol et du ruissellement. (...)
- Les simulations des modèles climatiques pour le XXI^e siècle s'accordent à prévoir une **augmentation des précipitations dans les latitudes élevées** (très probable) et une partie des tropiques, et une **diminution dans certaines régions subtropicales et aux latitudes moyennes inférieures** (probable). (...)
- Vers le milieu du XXI^e siècle, le débit moyen annuel des cours d'eau et la disponibilité en eau devraient augmenter en raison du changement climatique aux latitudes élevées et dans certaines zones tropicales humides, et diminuer dans des régions sèches aux latitudes moyennes et dans les régions tropicales sèches. (...)
- **L'augmentation de l'intensité et de la variabilité des précipitations devrait augmenter les risques de crue et de sécheresse dans plusieurs régions.** (...)
- **L'eau stockée dans les glaciers et la couverture neigeuse devrait diminuer au cours du siècle**, réduisant ainsi la disponibilité en eau pendant les périodes chaudes et sèches (via un décalage saisonnier de l'écoulement fluvial, une augmentation du rapport du débit hivernal sur le débit annuel, et une réduction des basses eaux) dans les régions alimentées en eau de fonte des principales chaînes montagneuses, où vit actuellement plus du sixième de la population mondiale (degré de confiance élevé).
- **L'augmentation de la température des eaux et les variations des phénomènes extrêmes, notamment les crues et les sécheresses, devraient influencer la qualité de l'eau et aggraver de nombreuses formes de pollution aquatique** (sédiments, nutriments, carbone organique dissous, organismes pathogènes, pesticides et sel) ainsi que la pollution thermique, avec d'éventuelles conséquences néfastes sur les écosystèmes, la santé publique, la fiabilité des systèmes de distribution d'eau et les coûts d'exploitation (degré de confiance élevé). (...)
- **Au niveau mondial, les impacts négatifs du changement climatique sur les systèmes d'eau douce à venir devraient l'emporter sur les avantages (degré de confiance élevé).** À l'horizon 2050, la superficie des terres sujettes à un stress hydrique croissant en raison du changement climatique devrait être plus du double de celle des terres soumises à un stress hydrique décroissant. (...)
- **Des changements dans la quantité et la qualité de l'eau attribuables au changement climatique devraient influencer la disponibilité, la stabilité et l'utilisation des aliments ainsi que l'accès à ces derniers.** (...)
- Le changement climatique influence le fonctionnement et l'exploitation des infrastructures hydrauliques existantes, notamment pour la production d'énergie hydroélectrique, les

¹³⁵ Bates, B. C., Z. W. Kundzewicz, S. Wu et J. P. Palutikof, éd., 2008: *Le changement climatique et l'eau*, document technique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Secrétariat du GIEC, Genève, 236 p. URL : www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/climate-change-water-fr.pdf

¹³⁶ Op. Cit. p 5-7

ouvrages de protection contre les inondations, les systèmes de drainage et d'irrigation, ainsi que les pratiques de gestion de l'eau. (...)

- **Les pratiques actuelles en matière de gestion des ressources en eau ne sont probablement pas assez robustes pour pallier aux incidences négatives du changement climatique** sur la fiabilité de l'approvisionnement en eau, les risques de crue, la santé, l'agriculture, l'énergie et les écosystèmes aquatiques. (...)
- Le changement climatique remet en cause le postulat traditionnel selon lequel l'expérience acquise dans le passé en matière d'hydrologie est un appui utile pour faire face aux conditions futures. (...)
- Les options d'adaptation conçues pour garantir un approvisionnement en eau dans des conditions moyennes et de sécheresse exigent l'intégration de stratégies aussi bien côté demande que côté offre. (...)
- Les mesures d'atténuation peuvent réduire l'ampleur des incidences du réchauffement mondial sur les ressources en eau et, ainsi, réduire les besoins d'adaptation. (...)
- **La gestion des ressources en eau influence manifestement de nombreux autres domaines de politique** (par exemple l'énergie, la santé, la sécurité alimentaire et la conservation de la nature). Par conséquent, l'évaluation des possibilités d'adaptation et d'atténuation doit être menée dans les multiples secteurs qui dépendent de l'eau. (...)
- Il existe des lacunes en termes d'observation et de besoins de recherche liés au changement climatique et à l'eau. (...) »

Il s'avère donc que partout dans le monde, les changements et les imprévus climatiques auxquels nous allons être confrontés vont rendre la gestion de l'eau de plus en plus difficile.

L'approche par le droit à l'eau : controversée et non effectiv

Le 28 juillet 2010, l'Assemblée générale des Nations Unies reconnaissait le droit à l'eau potable et à l'assainissement comme un droit humain. Néanmoins, dans le monde, près d'un milliard de personnes n'ont toujours pas accès à l'eau et plus de deux milliards n'ont pas accès à l'assainissement. Les défenseurs du droit à l'eau comme service essentiel, demandent que les Etats garantissent que tous les habitants jouissent du droit à l'eau et à l'assainissement ; que l'approvisionnement en eau et la gestion des ressources hydriques ne soient pas soumis aux "règles du marché intérieur" et que les

Les enjeux de l'eau en France

❖ Des rejets industriels en diminution

Les problèmes de pollutions et des solutions mises en œuvre dans l'industrie varient, en fonction des branches industrielles et de l'ancienneté des usines les processus de fabrication et la gamme des rejets. Les usines chimiques élaborent, ainsi, régulièrement de nombreux nouveaux produits dans la série des micro-polluants organiques qui nécessitent, chaque fois, une approche au cas par cas.

Concernant les matières oxydables, le poids des rejets des industries aux milieux naturels est aujourd'hui du même ordre de grandeur que celui des rejets domestiques et provient pour l'essentiel des branches de l'agroalimentaire, de la pâte à papier et du papier et en deuxième rang de la chimie, du pétrole et du textile.

Quelques branches industrielles sont responsables de l'essentiel des rejets toxiques ponctuels (métaux et produits organiques) : industries minérales (ciments, céramiques, verreries, briqueterie), chimie, parachimie, pétrole, sidérurgie et traitement des métaux, cuirs et peaux.

Une partie importante des rejets de matières organiques provenant des industries est envoyée sur des réseaux d'assainissement domestique pour être traitée en station d'épuration publique (33% des principaux rejets) ou envoyée en épandage (17% des rejets). Ces rejets posent des problèmes de transfert de responsabilités entre industriels et collectivités locales qui doivent être résolus par des conventions de rejets entre ces parties. Ces conventions prévoient des systèmes de prétraitement éventuels (élimination des toxiques), les flux qui sont admis sur les réseaux et des taxes d'assainissement proportionnelles aux coûts de transports et d'élimination sur les ouvrages publics. Ces rejets, qui proviennent pour l'essentiel de l'agroalimentaire, ne devraient représenter qu'une part minoritaire des capacités des ouvrages d'épuration publique.

Ces recommandations ne sont pas toujours suivies par de nombreuses communes en milieu rural attachées à maintenir la présence d'un site industriel sur leur territoire.

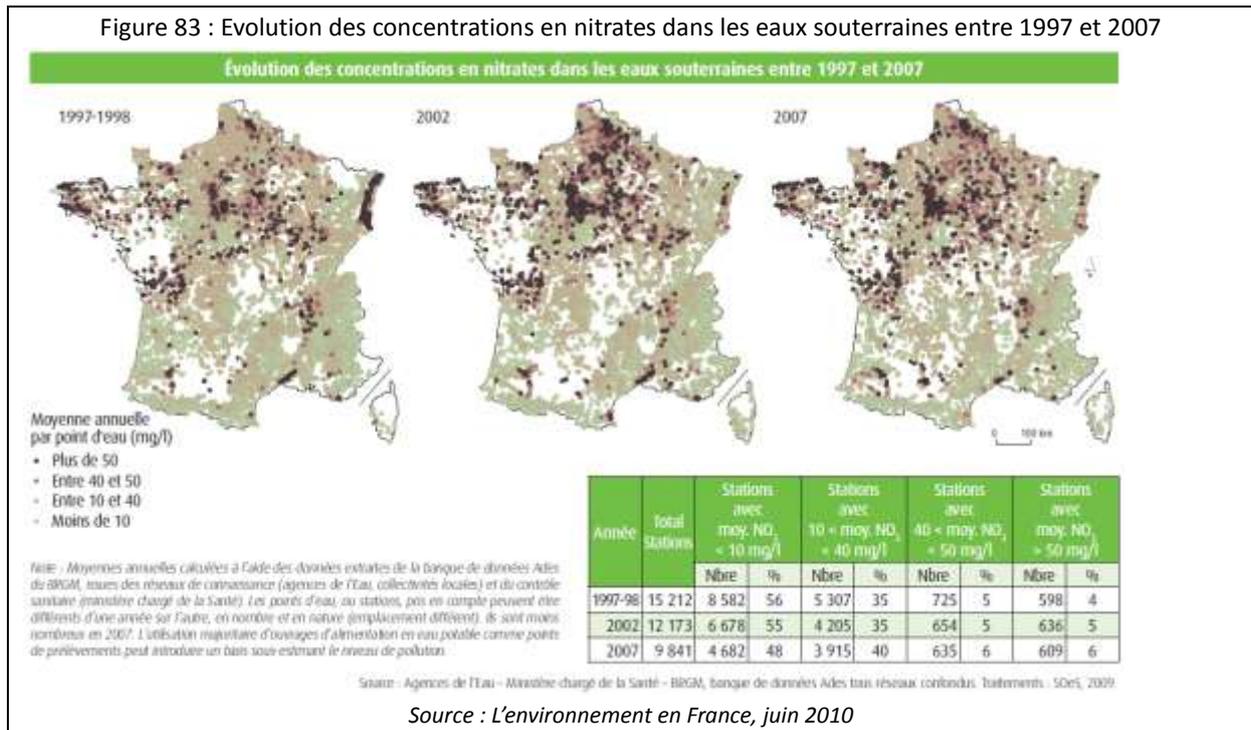
Les performances des ouvrages d'épuration spécialisés permettent d'obtenir des abattements importants des pollutions, de 70 à 80% sur les matières oxydables et 80 à 90 % sur les toxiques.

Les progrès dans la réduction de rejets de toxiques, rendus obligatoires par un renforcement progressif des normes de rejets des installations classées, ont été réalisés pour l'essentiel par des améliorations de process de production (recyclage et récupérations) et ont exigé des investissements importants pour des entreprises, souvent de taille modeste (traitements de surfaces, mégisseries). Les rejets toxiques finaux, liquides ou solides, doivent être traités dans des ouvrages spécialisés propres aux entreprises pour les grands établissements, collectifs pour les petites entreprises. Malgré les progrès réalisés, beaucoup d'industries restent des foyers de préoccupation majeurs pour l'eau, **le volume des rejets polluants restant considérable.**

❖ **Pollutions agricoles : une dégradation continue depuis 30 ans (cf. Partie 5 sur l'agriculture)**

L'agriculture génère des pollutions par les engrais, les produits phytosanitaires, les rejets et les lisiers des élevages intensifs. La variété des terroirs agricoles nationaux, la diversité des potentiels agronomiques des sols et de leurs capacités d'évolution ne permettent pas d'avoir une vue générale et homogène des difficultés rencontrées. La carte des zones vulnérables établie en application de la directive européenne sur les nitrates d'origine agricole donne une image des territoires les plus touchés par de graves problèmes de pollutions.

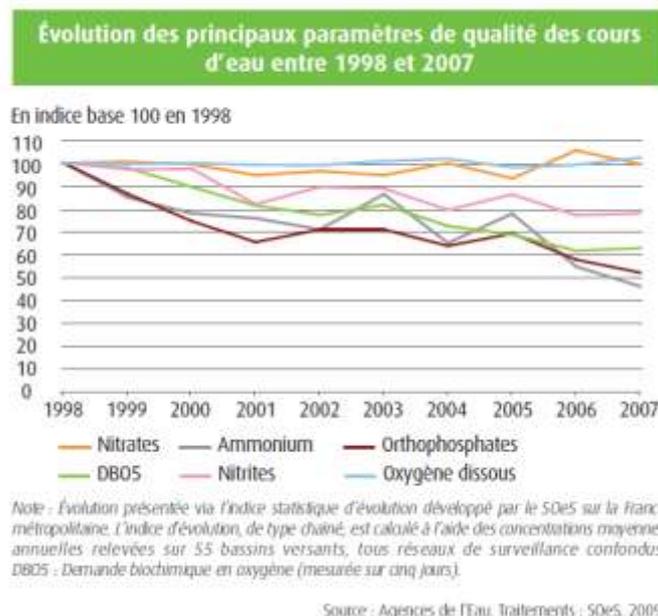
Figure 83 : Evolution des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines entre 1997 et 2007



Pour ce qui concerne les **nitrates**, on estime que 74 % des apports aux milieux aquatiques proviennent des pollutions diffuses agricoles, soit en épandages de déjections animales, soit en excédents d'engrais (de l'ordre de 30%), alors que les rejets domestiques et industriels sont responsables respectivement de 20% et 6% des rejets azotés dans l'eau.

Les engrais et les élevages contribuent, aussi, à des apports importants de phosphates aux rivières, du même ordre de grandeur que celui des rejets domestiques (lessives et métabolisme humain). La voie d'élimination finale principale des lisiers d'élevage est l'épandage pour l'engraisement des cultures. Les problèmes de pollution dus aux engrais minéraux et aux élevages sont étroitement liés par les besoins des cultures. Selon les régions et les systèmes agricoles dominants, les problèmes peuvent provenir des engrais (Beauce, Sud-Ouest), des élevages (Bretagne) ou de la combinaison de ces activités (Pays de la Loire).

Figure 84 : Evolution des principaux paramètres de qualité des cours d'eau entre 1998 et 2007



Source : L'environnement en France, juin 2010

Autres pollutions

L'agriculture contribue par de nombreux autres phénomènes de pollutions à dégrader les eaux :

- Risques sanitaires (salmonelloses, botulisme, parasitisme) liés à la concentration massive d'animaux et aux produits de traitements (résidus d'antibiotiques).
- Contamination des sols : les engrais apportent du cadmium et du chrome, les épandages de lisiers de porcherie du cuivre et du zinc. Ces problèmes considérés dès aujourd'hui avec attention par certains pays à terrains acides comme la Suède, pourraient devenir rapidement une préoccupation majeure en France. La connaissance de la contamination des sols doit être améliorée.
- Produits phytosanitaires : l'appréhension de l'acuité des pollutions dues aux pesticides et l'étude des voies de prévention sont beaucoup moins avancées. Les firmes productrices délivrent aujourd'hui des matières actives plus efficaces pouvant être utilisées en plus petites quantités. Les composés persistants, comme les organochlorés, ont été abandonnés au profit des organophosphorés. Les derniers résultats synthétiques publiés par l'IFEN en 1997 montrent la présence de ces produits à l'état de traces dans de nombreux milieux aquatiques, alors que l'on pensait que leur biodégradabilité devait éviter leur présence. Le CORPEN a établi un ensemble de recommandations pour une meilleure utilisation de ces produits (doses, effet des bandes enherbées). Une étude récente de l'ITCF et des Agences de l'eau sur trois sites expérimentaux montre que l'effet des bandes enherbées peut être très efficace pour les produits phytosanitaires dont la solubilité, quoique variable, est généralement très faible comparée aux nitrates.¹³⁷
- Erosions : les phénomènes d'érosion se sont fortement accélérés dans les régions de

¹³⁷ 90% d'élimination constatée pour une largeur de 6 mètres, quasiment 100 % pour 12 à 18 mètres.

monoculture (blés, maïs), où les sols sont laissés nus après les cultures.

- Disparition des zones humides et prairies : ces milieux ont un rôle important dans les processus de régulation des eaux et d'épuration (dénitrification). La connaissance et la maîtrise des conséquences de leurs disparitions restent très imparfaites de même que celles d'atteintes de portée plus générale à l'environnement (perte de diversité biologique, qualité des produits).

❖ L'érosion des ressources halieutiques

Depuis l'après-guerre, on ne considère plus les ressources de l'océan comme inépuisables. La reconnaissance de leur caractère fini est la principale motivation de la question centrale de l'ajustement du prélèvement de la pêche au potentiel de production des écosystèmes. Cette question ne doit pas occulter le fait que la pêche n'est pas réductible à sa contribution à la sécurité alimentaire. C'est une activité fortement structurante du tissu socio-économique de nombreuses régions côtières, dimension territoriale révélée par la composition de la flotte mondiale.

La moitié des groupes d'espèces sont exploités au maximum, 24 % surexploités et dix-sept des plus grandes zones de pêche ont atteint ou dépassé leurs limites naturelles. Au niveau européen, d'après la Commission européenne, 81% des populations marines de l'Atlantique Nord Est évaluées sont surexploitées. D'après l'indicateur de l'empreinte écologique, l'empreinte de la pêche s'élève actuellement à 60, 8 millions d'hectares, dépassant de 157 % la biocapacité de la pêche (Rapport de Refining Progress, 2006).

Le Plan de mise en œuvre du Sommet Mondial du Développement Durable (SMDD) fixe l'objectif de « maintenir ou rétablir les stocks à des niveaux susceptibles d'assurer la production durable maximale en ce qui concerne les stocks épuisés, dans les meilleurs délais et si possible, avant 2015 au plus tard ». Pour protéger la biodiversité marine et permettre aux stocks de se reconstituer, un réseau mondial d'aires protégées couvrant 20 % à 30 % des mers de la planète serait nécessaire, avec un important dispositif de surveillance.

- La pêche industrielle est cause d'une surexploitation des stocks, d'une destruction de fonds marins, réserves de biodiversité loin d'être encore explorées, de destruction accidentelle d'espèces qui sont prises dans les chaluts (tortues, dauphins, oiseaux de mer...).
- L'aquaculture industrielle permet à la production de poissons et de crevettes d'augmenter. Mais elle est polluante, aggrave la surpêche pour fabriquer la farine animale, et détruit des écosystèmes vitaux, comme les mangroves.

Les experts mondiaux s'accordent avec la FAO pour constater que l'essor d'après-guerre des pêches maritimes a pris fin au cours des années 80. Le développement de l'aquaculture est devenu significatif pendant la décennie 90, lorsqu'il a relayé la croissance de la production halieutique - qui avait atteint le plafond de 90 à 95 millions de tonnes/an au voisinage duquel elle est demeurée depuis. **Répondre à l'augmentation de la demande mondiale de produits aquatiques pour l'alimentation humaine requiert à la fois une gestion durable des ressources halieutiques et une croissance durable de la production aquacole, en limitant ses impacts environnementaux.**

La croissance des pressions humaines sur les ressources disponibles rend nécessaire **l'organisation d'une gestion intégrée des usages et des milieux**.

Le transfert à des autorités locales de la gestion des équipements est une tendance générale constatée, depuis de nombreuses années, dans les pays développés et plus récemment dans les pays en développement. La tarification est utile pour encourager un comportement raisonné des usagers et créer une nouvelle épargne collective pour le développement et un meilleur entretien des équipements.

Cependant l'efficacité de la tarification comme seul outil de récupération des coûts est discutable, car elle suppose de rencontrer le "consentement à payer des usagers". L'expérience montre que les systèmes de tarification ne peuvent recouvrir que partiellement les charges de premier investissement qui, dans la plupart des pays, ont été largement financés par l'impôt. Enfin, les systèmes de tarification impliquent la mise en place de systèmes de solidarité ("tarifications sociales" pour les populations les plus défavorisées. La tarification doit composer avec le principe du droit d'accès à l'eau pour tous qui est une règle internationalement reconnue par plusieurs textes adoptés par les Nations-Unies.

La tarification, un outil adéquat pour une meilleure gestion de l'eau ?

Une des raisons fondamentales des transferts progressifs de compétences vers des autorités publiques ou privées locales réside très souvent dans les performances décevantes de bon nombre de services ou d'entreprises publics, soit que les projets aient été mal conçus par rapport aux besoins des populations, soit que les crédits n'aient pas pu être dégagés pour assurer les moyens nécessaires à l'entretien des ouvrages. Des critères de gestion administrative ou réglementaires ne permettaient pas à ces sociétés de mettre en place des tarifs suffisants ou d'évoluer aussi vite que la société (urbanisation).

Une autre raison est le caractère nécessairement local de la gestion de l'eau qui justifie une appropriation de la gestion au niveau de communautés domestiques ou économiques pour les usages, et au niveau du bassin versant pour les opérations d'intérêt commun. Cette appropriation locale suppose l'organisation d'unités décentralisées de gestion et la création d'une épargne locale pour couvrir les charges des investissements. La tarification de l'eau est une voie utile dans cette évolution.

Un consensus général se dégage, aujourd'hui pour estimer que la tarification de l'eau est un bon outil pour encourager une participation des usagers locaux à la gestion des services dont ils bénéficient. La tarification est, aussi, un moyen pour mobiliser le secteur privé dans ce domaine. La mobilisation du secteur privé implique que soit organisé un environnement juridique et financier stable offrant à des entreprises suffisamment de garanties pour risquer des capitaux, avec la perspective de gagner de l'argent. La possibilité d'économies importantes sur les coûts d'exploitation des équipements existants par une amélioration de leur gestion (lutte contre les fuites ou consommations parasites), l'extension du service à de nouveaux clients, l'aménagement des tarifs sont des points clés de ces négociations.

En théorie, les tarifs pratiqués devraient refléter la réalité de la totalité des coûts : amortissement, exploitation des ouvrages et coûts des externalités environnementales. L'application de ces principes ne peut être que progressive et doit tenir compte du consentement à payer des usagers. En matière d'eau potable où les systèmes de couverture des charges par les tarifs sont les plus avancés, les tarifs peuvent être aménagés pour les populations les plus pauvres, soit dans le cadre de services adaptés (fournitures d'eau en gros et non à l'habitation), soit dans le cadre de système de péréquations.

Les tarifs des services ne couvrent généralement que les charges directes des services, avec des systèmes de péréquation plus ou moins étendus.

Pour compléter ce dispositif, quelques pays, en Europe occidentale pour l'essentiel (Suède, Danemark, Pays-Bas, Autriche,...), ont instauré des systèmes de taxation écologique (impôts non affectés), supposés inciter à un comportement vertueux de l'utilisateur et refléter, indirectement, pour partie, le coût des externalités environnementales.

La France a privilégié la mise en place du système de redevances des Agences de l'Eau destinées à financer les opérations d'intérêt commun aux bassins. En théorie, tous les usagers sont considérés comme ayant les mêmes droits sur les milieux naturels (sous réserve de la sauvegarde des intérêts patrimoniaux) et sont soumis à un régime de redevances qui ne tient compte que des prélèvements ou des pollutions apportées aux milieux naturels. Ces redevances tiennent compte du coût des aménagements qui doivent être menés pour permettre une utilisation partagée équilibrée des milieux naturels entre l'ensemble des usagers et les coûts de gestion et de sauvegarde patrimoniale de ces milieux (ouvrages de soutien d'étiage, aménagement des rivières).

Le passage de systèmes de gestion de l'eau centralisés vers des systèmes décentralisés ne peut être que progressif. Outre les problèmes d'organisation administrative et de dégagement d'une épargne locale, il implique la présence, au plan local, d'hommes formés aux techniques de base de gestion des eaux et maintenance des équipements. Ces hommes font défaut dans la plupart des pays pauvres ou sont concentrés dans les capitales. Formation des hommes et transfert des technologies sont une demande récurrente de la plupart des pays en développement vis-à-vis des pays riches.

Elasticité de la demande

Pour un ménage, le prix de l'eau représente moins de 5 à 10 % du budget annuel. Même pour des industries fortes consommatrices en eau, les coûts correspondants demeurent inférieurs à 10% (plutôt 5% en général) des coûts d'exploitation, alors que les coûts d'irrigation peuvent atteindre 25% des coûts d'exploitation pour un agriculteur. Les agriculteurs sont plus sensibles que les autres usagers à l'évolution du prix de l'eau.

Ces considérations doivent toutefois être pondérées par les hausses fortes du prix de l'eau potable et d'assainissement en milieu urbain qui conduit au refus de certains habitants des villes à supporter les conséquences financières des équipements rendus souvent nécessaires par une gestion abusive des eaux naturelles par l'agriculture. En France, il est devenu difficile de convaincre les usagers que les services d'adduction d'eau doivent participer au financement de nouvelles réserves en eau nécessitées par la dégradation des étiages de certaines rivières dont l'impact essentiel est imputable aux irrigations.

Le rôle principal des pouvoirs publics consiste en priorité, à organiser les éléments d'une gestion globale de l'eau entre tous les usagers. Les pouvoirs publics sont amenés aujourd'hui à recréer par la planification et des réglementations de nouveaux systèmes de répartition. **De telles stratégies pour être efficaces doivent être organisées par bassin versant et associer l'ensemble des acteurs à la définition des objectifs de développement économique et de protection des milieux naturels.**

Diverses formes d'autorités publiques de bassin ont été mises en place par de nombreux Etats à cet effet. Le Réseau International des Organismes de Bassin (RIOB), dont le secrétariat est assuré par l'Office International de l'Eau (OIE) regroupe aujourd'hui plus de 125 organismes dans 50 pays. Les compétences et statuts de ces institutions sont variés : études, planification, gestion des ouvrages structurants, réglementation, ventes d'eaux "en gros", gestion de taxes ou redevances. Généralement, c'est la nécessité d'organiser une action concertée pour la gestion de grands barrages ou canaux entre pouvoirs publics et usagers divers (villes, industries, agriculteurs) qui a conduit à l'émergence de ces institutions. L'expérience montre, qu'au delà des aspects quantitatifs, ces institutions sont conduites à intervenir de plus en plus pour mettre en place les outils d'une gestion collective des réductions des pollutions, ainsi que d'aménagements ou entretien des rivières qui sont les systèmes de transits naturels, les plus économiques, des volumes d'eaux jusqu'aux prises d'eaux des usagers.

Gestion quantitative et gestion qualitative des eaux sont étroitement liées ; la préservation des milieux naturels aquatiques en apparaît, de plus en plus, comme le complément incontournable.

Dans beaucoup de pays, l'organisation publique de l'eau reste éclatée entre de nombreux ministères (agriculture, équipement, travaux publics, industrie, énergie...) qui reflètent les contraintes des usages dominants. La mise en place de ministères de l'environnement a souvent été la réponse à la nécessité d'organiser une meilleure coordination de l'action publique. Encore faut-il que des transferts réels de compétences accompagnent ce mouvement, si on veut que le Ministère de l'environnement soit le véritable Ministère de l'eau : ainsi le regroupement des banques de données "milieux et usages" sur l'hydrométrie, traditionnellement rattachées aux Travaux Publics et à l'Agriculture, avec celles plus récentes sur la qualité des eaux sont indispensables, mais souvent difficiles à mettre en place; l'acceptation par les grands ministères aménageurs du rôle d'arbitre d'un nouveau ministère jeune est délicate. Le risque est grand que le ministère de l'environnement ne devienne parfois que l'expression d'un lobby supplémentaire, ajoutant un peu plus de complexité à un paysage administratif déjà encombré. Pour contourner ces difficultés, les pays anglo-saxons ont eu recours à la création de nouvelles agences gouvernementales nationales, ("Environmental Protection Agencies") garantissant une certaine indépendance du dispositif d'expertise par rapport à celui du système de décision publique.

La mise en place de procédures ou de structures organisant une confrontation des administrations et des multiples acteurs publics, privés et associatifs impliqués dans l'évaluation des conséquences de nouveaux équipements sur la gestion des eaux doit aussi faire beaucoup de progrès : procédures d'enquête publique ou d'études d'impact.... Pour faciliter l'émergence publique de la diversité des avis, y compris dans les administrations, certains pays, comme la Suède, ont choisi de confier la conduite de ces procédures à une autorité judiciaire indépendante du pouvoir politique.

Les systèmes de gestion des eaux sont riches d'une grande variété d'expériences liées au contexte historique et aux contraintes dominantes propres à chaque pays.

Au delà de cette diversité, on peut constater, aujourd'hui un ensemble d'évolutions convergentes :

1. Prise en compte du bassin versant, comme unité de cohérence.
2. Mise en perspective des aspects quantitatifs, qualitatifs et environnementaux.
3. Organisation d'outils de concertation entre pouvoirs publics et usagers privés ou associatifs.
4. Décentralisation des systèmes de décision, de gestion des équipements et en corollaire, redéfinition des missions de l'Etat (planification, réglementation).
5. Développement de l'application des principes "pollueur-payeur" et "utilisateur-payeur".

C'est de la confrontation et de la complémentarité de ces aspects que peut naître la vision d'une gestion intégrée des eaux qui est un art difficile, mais sans doute la voie d'avenir.

POINT D'ETAPE

Les ressources en eau sont très inégales selon les régions du monde, les questions de durabilité liées à la ressource en eau au plan quantitatif des approvisionnements ne se pose donc pas de la même manière pour les différentes parties du globe. Sous nos climats, la situation est moins sensible, à la différence de pays voisins, notamment au sud de la méditerranée, où d'ores et déjà le développement actuel repose sur un déséquilibre non durable entre ressource naturelle insuffisante et demande croissante.

L'inquiétude des scientifiques sur l'érosion des ressources halieutiques et la qualité des milieux aquatiques est également grandissante.

Sous le climat tempéré de l'hexagone, deux objets de controverses concernant la ressource en eau émergeront inmanquablement :

- **Au plan qualitatif, la possibilité de retrouver – à l'échéance de 2015 comme le propose la directive cadre sur l'eau, ou même à une échéance plus tardive – la qualité originelle des milieux, notamment concernant les nappes phréatiques.** Il ne fait pas de doute que, compte tenu de la persistance de pratiques agricoles intensives – qu'il s'agisse de l'agriculture céréalière ou l'élevage hors sol – la qualité des eaux souterraines n'ira pas dans le sens d'une amélioration permettant le retour à la potabilité de l'eau brute.
- **Au plan quantitatif, l'impact du changement climatique aura pour effet le développement des phénomènes extrêmes,** et plus précisément des saisons sèches plus sèches et des saisons humides plus humides, entraînant la nécessité de développer des politiques de stockages inter-saisonniers, impliquant notamment une gestion active des nappes phréatiques.

Trois moyens semblent indispensables pour faire face aux limitations de la ressource en eau :

- **l'organisation d'une gestion intégrée des usages et des milieux ;**
- **l'optimisation des volumes et les économies d'eau ;**
- **l'amélioration de nos modes de productions et la lutte contre le gaspillage.**

CONCLUSION : Préparer l'avenir, changement climatique et changements globaux, les deux faces d'un difficile problème d'adaptation pour le monde de l'eau

La France a adopté en 2011 un Plan National d'Adaptation au Changement climatique, qui prévoit un déficit supplémentaire potentiel de 2 Milliards de m³ pour les seules régions française classée dès aujourd'hui déficitaires en ressources en eau. Les études menées en France mettent en évidence pour les années 2070 et suivantes, des perspectives de réductions importantes des étiages dans des grandes régions agricoles qui souffrent déjà de problèmes chroniques de déficit de ressource en eau ainsi que dans le Bassin Parisien. Ces scénarios s'accompagnent de fortes incertitudes sur les perspectives d'évolution des étiages, des crues et des écoulements.

Le dossier de l'eau est complexe car le monde de l'eau doit faire face à la fois aux conséquences des évolutions du cycle de l'eau, mais aussi à de multiples changements globaux liés aux pressions anthropiques (urbanisation, littoralisation, sécurité alimentaire, vulnérabilité aux risques, etc)

A l'issue du Forum Mondial de l'Eau de Marseille en Mars 2012 (WWF 6), la France en collaboration avec l'UNESCO IHP a proposé un programme de travail international 2013 - 2015 sur les moyens de mieux évaluer les impacts du changement climatique et des changements globaux sur le devenir du régime des eaux.

Les échanges organisés en ce sens, à l'occasion d'un séminaire organisé en 2011 et au cours du WWF6, ont confirmé que les outils à la disposition des gestionnaires des ressources en eau restent encore insuffisants pour leur permettre d'intégrer les impacts du changement climatique dans leur politique.

Le monde de l'eau peut agir à la fois par une meilleure gestion des ressources disponibles (connaissance, outils, régulation des eaux), et par une meilleure gestion de la demande par la promotion de techniques plus économes des ressources. Il est clair que des problèmes de gestion des eaux vont se retrouver au croisement de presque toutes les stratégies d'adaptation des activités sociales et économiques, comme des problèmes hydro-écologiques.

Certaines régions de notre planète vont rencontrer d'ici 50 ans d'importantes difficultés qui appellent dès aujourd'hui, à définir de nouvelles stratégies de gestion des nappes et eaux superficielles. Dans le cadre des multiples options d'adaptation possible, le renforcement de l'expertise internationale sur le devenir des rivières et des nappes à moyen terme, doit devenir une priorité.

Le secteur de l'eau apparaît transversalement à travers tous les secteurs de vulnérabilité évoqués au titre de l'impact du changement climatique (agriculture, santé, tourisme, risques, protection infrastructures, etc). Un problème clairement identifié est celui du traitement des incertitudes et d'une amélioration du dialogue entre les scientifiques et les décideurs et de la création de plateforme d'autorité partagée pour l'évaluation de risques et la définition des vulnérabilités.

Enfin il faut s'interroger sur les difficultés à sensibiliser le monde des décideurs à l'opportunité d'investir plus fortement sur la connaissance du devenir de la partie "grand cycle de l'eau " (les pays pétroliers souhaitent pas exemple résoudre le problème de l'eau grâce aux perspectives du dessalement, le réduisant ainsi à un problème de moyens techniques et de finances) :

1 – Comment tirer des priorités de l'examen des effets de l'adaptation systémique des milieux (les débits, la qualité des eaux), de l'adaptation réflexive (adaptation des usages) et de l'adaptation aux changements globaux non liés au climat (démographie, évolution activités économique, etc) ?

2- Comment concilier action et incertitudes ? A partir du moment où l'incertitude liée au climat est reconnue comme un paramètre incontournable et irréductible, il constitue un élément à intégrer dans les démarches prospectives, qui réinterroge les méthodes de planification en avenir incertain et la signification de la notion de résilience.

L'air et l'atmosphère : changements climatiques et polluants

Les questions d'environnement posées à la suite de la conférence de Stockholm de 1972 portaient essentiellement sur les pollutions locales. Elles posaient la question de la possibilité d'une conciliation entre le développement industriel et l'écologie. Les niveaux d'émissions de polluants ont depuis fortement diminué. Cela supposait un traitement des pollutions en aval des procédés industriels. On peut considérer que cette bataille a globalement été gagnée en une génération. La forte réduction des émissions par l'industrie puis par les transports a ensuite tranquilisé les milieux industriels et les a amenés à négliger les pollutions globales. Trois questions ont ainsi émergé depuis un quart de siècle : le changement climatique, la biodiversité et les polluants persistants (de nature organique ou comportant des métaux lourds).

La portée politique de ces questions d'environnement global n'est pas de la même nature que les questions liées aux ressources. Ces confrontations aux limites ne se posent pas, elles, dans un contexte strictement national, mais constituent des enjeux planétaires à solidarité obligatoire. Les politiques nationales sont indispensables mais pèsent peu pour éviter les manifestations du changement climatique dans le pays lui-même qui les mène. C'est là une grande différence avec la problématique des pollutions locales.

Elles posent donc directement la question de la gouvernance mondiale dans le cadre des conventions issues de Rio. Car seule l'action coordonnée de tous les pays permet d'envisager de réussir la maîtrise de ces enjeux dans les délais impératifs nécessaires. Au plan politique, ces questions environnementales qui ne peuvent être maîtrisées que dans un cadre de solidarité et de régulation globale. Mais les résistances des égoïsmes nationaux vont être très importantes. De ce point de vue, la négociation climat constitue le cœur de la lutte pour une régulation mondiale : elle est impérative, collective, elle pose la question du développement, elle nécessite un mécanisme de sanction, elle ne peut être résolue que dans le cadre de l'ONU, elle nécessite des transferts Nord-Sud et un partage de la technologie.

La confrontation à une autre limite, celle qui découle du changement climatique

❖ Les émissions de gaz à effet de serre sont responsables du changement climatique

Alors que pendant le développement de l'industrialisation, à l'émission de gaz carbonique à partir des combustions, n'était associé aucun risque, ni aucune pollution, on sait depuis 20 ans qu'elle induit un bouleversement climatique majeur. Le réchauffement climatique est d'ores et déjà une réalité (la température moyenne globale a augmenté d'environ 1°C depuis un siècle) et ses conséquences se

font de plus en plus ressentir (canicules, sécheresses, inondations, hausse du niveau des mers,...). Si l'on continue à laisser s'accroître les émissions de gaz à effet de serre sans agir, on encourt en 2100 un changement climatique équivalent en ampleur à la sortie de l'ère glaciaire. Ce serait comme si Toulouse se trouvait transplanté au Maroc avec tous les effets que cela induirait sur les ressources en eau, l'agriculture et les conditions de vie.

Face à ces risques majeurs, la réponse vitale consiste à réduire les émissions de gaz à effet et ses conséquences néfastes au cours de ce siècle. Et cela inclut nécessairement des politiques d'adaptation par rapport à la partie de la hausse des températures d'ores et déjà inéluctable.

La Convention Cadre des Nations-Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) signée à Rio en 1992 constitue le socle international de la lutte contre le changement climatique. Elle a été complétée par le Protocole de Kyoto de 1997 qui a fixé des obligations de réduction des émissions aux pays industrialisés (-8% pour l'Union européenne entre 1990 et 2012), puis récemment, par les Accords de Cancun.

Mais ces négociations internationales buttent aujourd'hui sur deux obstacles graves :

- Le blocage exprimé par les Etats-Unis quant à souscrire des engagements contraignants ;
- Les considérables inégalités de développement qui existent dans le monde rendant terriblement difficile la répartition des efforts à réaliser entre les différents types de pays.

A ce stade, un constat s'impose, moins les engagements de réduction souscrits dans les traités internationaux sont tenus, plus faibles sont les engagements suivants et moins les acteurs ne se sentent obligés à réaliser dans les délais requis les actions nécessaires dans les différents domaines d'activité concernés. Ainsi, **le changement climatique est la première question à solidarité obligatoire de l'histoire humaine.**

Dès lors, les difficiles négociations internationales récentes ont conduit à un constat imparable : **tous les pays doivent progresser afin d'améliorer les conditions de vie de leur population vers une nouvelle forme de développement à bas niveau de carbone**, sous peine de s'engager dans la voie dangereuse d'affrontements essentiellement pour l'accès à l'eau, à la nourriture et à l'énergie dans les décennies qui viennent.

En France, la loi de Programmation et d'Orientation de la Politique Energétique de 2005 fixe comme objectif, pour la France, la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050, c'est le « facteur 4 ». C'est le niveau de progrès que la France doit réaliser pour permettre à niveau d'efforts équivalent aux autres pays. Les lois « Grenelle » adoptées en 2009 et 2010 ont confirmé cet objectif et l'ont concrétisé par des mesures de mise en œuvre notamment concernant la qualité de construction et de réhabilitation thermique des bâtiments.

Compte-tenu d'une durée de séjour du gaz carbonique de l'ordre de 120 ans dans l'atmosphère, cela exige de réduire le plus rapidement possible les émissions de gaz à effet de serre :

- Une division par 2 des émissions mondiales d'ici à 2050, soit une réduction de 75 % pour la France,

- **Une réduction entre 25 % et 40 % des émissions des pays développés d'ici à 2020.** Un objectif européen a été fixé dans le cadre du paquet climat-énergie en décembre 2008 de réduction de 20% des émissions européennes entre 1990 et 2020.

Cette problématique est à la fois mesurable, avec des exigences précises de réduction et un compte à rebours précis. Il faut diviser par deux les émissions mondiales d'ici 2050. A cela correspond une division par quatre pour la France.

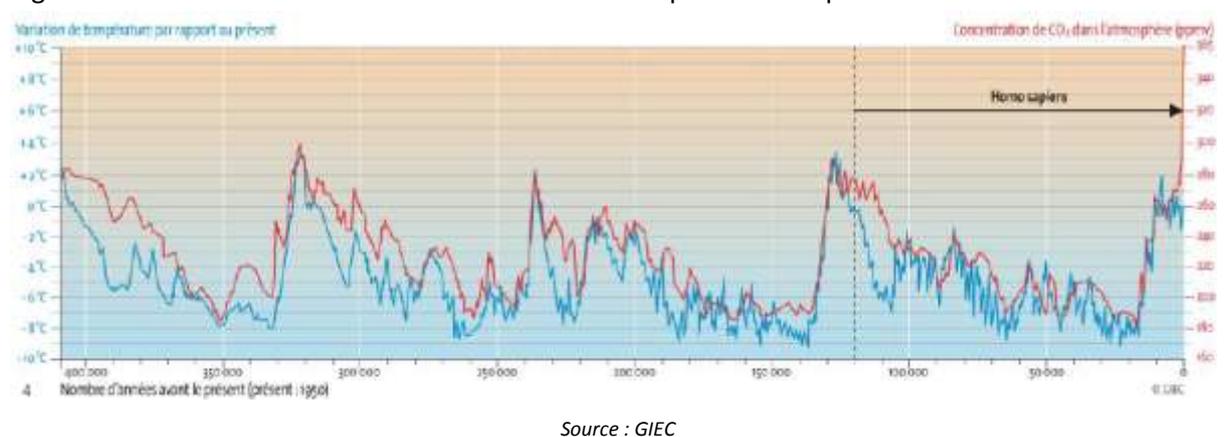
La question du changement climatique – objet de polémique actuel entre ceux qui reconnaissent le sérieux des travaux du GIEC et les « climato-sceptiques » - doit être considérée comme réglée dans le cas de cette étude portant sur la transition vers une économie écologique. En effet, le fondement même de la mise en vigueur d'une telle politique repose sur la nécessité de changer de modèle, pour appliquer le « facteur 4 » et réduire les émissions de gaz à effet de serre découlant de l'usage des combustibles fossiles.

❖ L'impact environnemental d'un recours massif aux matières premières fossiles

Le problème ne s'arrête pas là. On sait, depuis la publication des travaux du GIEC, notamment depuis le Sommet de la Terre à Rio en 1992 où a été élaborée la convention climat, que le déstockage massif du carbone contenu dans l'enveloppe solide de la terre, et son émission sans retenue dans l'atmosphère n'ont pas été sans conséquence sur la composition de celle-ci.

Ainsi, malgré les avertissements de l'ASPO¹³⁸, il a fallu que l'on approche un niveau de consommation correspondant à la moitié du stock disponible pour que l'on se rende compte que non seulement il s'agissait d'une ressource limitée, déjà en voie d'épuisement, mais encore que sa combustion avait un impact significatif sur le climat.

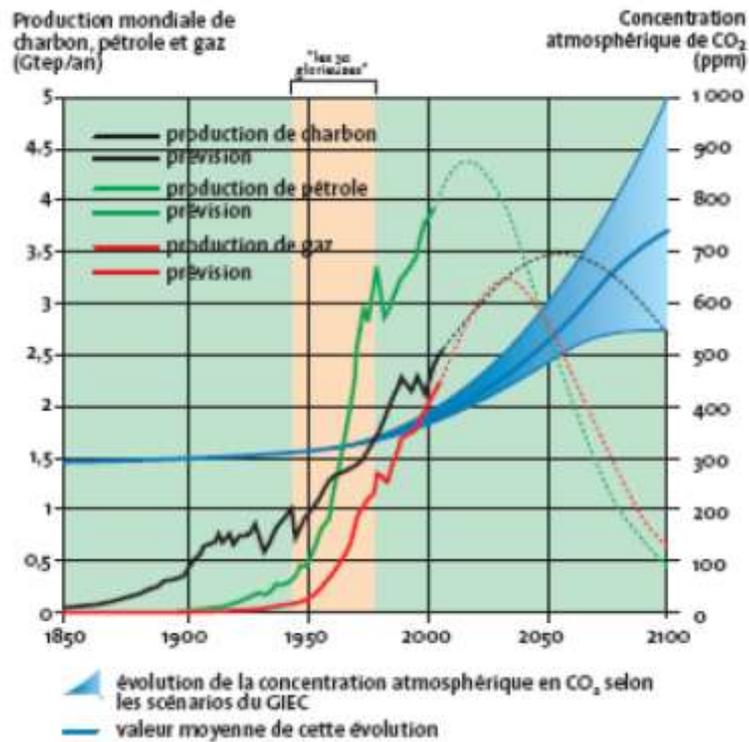
Figure 85 : Corrélation entre teneurs en CO₂ de l'atmosphère et températures terrestres



Le GIEC a démontré que le carbone déstocké de la lithosphère et rejeté sans compter dans l'atmosphère a pour conséquence une augmentation des températures et des phénomènes météorologiques extrêmes.

¹³⁸ ASPO : association for the study of peak oil; voir ASPO France : <http://aspofrance.org/>

Figure 86 : Cycle du carbone dans les relations entre enveloppes terrestres : géosphère, biosphère, atmosphère



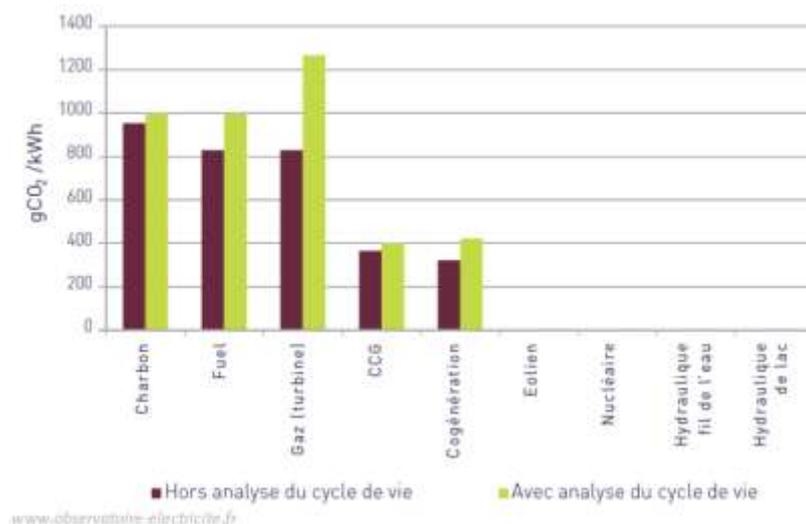
Source : GIEC

On observe sur ce diagramme les « pics » successifs pour le pétrole, le gaz et le charbon, ainsi que l'augmentation des teneurs en CO₂ de l'atmosphère due au déstockage massif du carbone fossile découlant de la consommation de ces ressources énergétiques (J.Varet, Futuribles, 2005).

La prise en compte de la contrainte carbone

❖ Electricité & émissions de CO₂

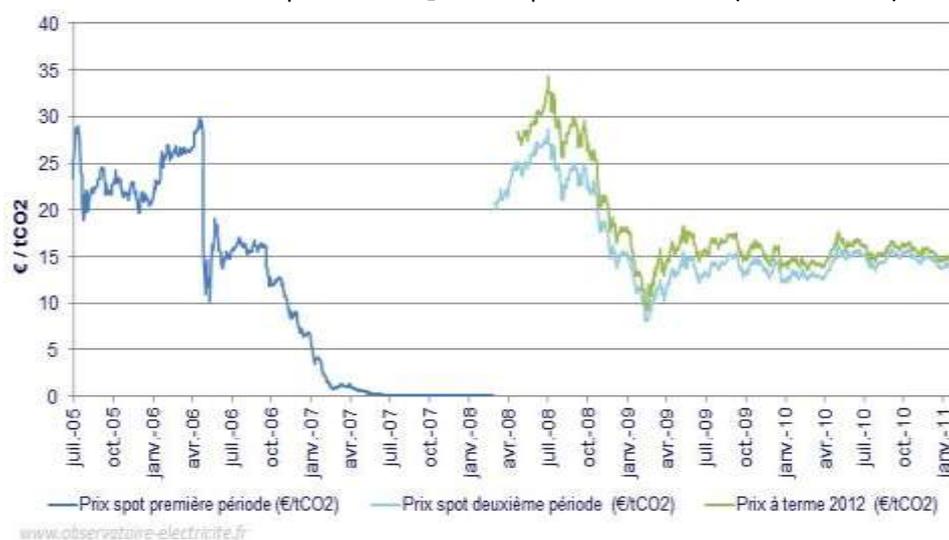
Figure 87 : Niveau d'émissions de CO₂ par filière de production d'électricité



Source: UFE, Vision 2020, 2009

Ce graphique présente **le contenu en CO₂ du kWh électrique en fonction de la filière de production**. Le contenu hors analyse du cycle de vie (ACV) ne prend en compte que les émissions directes de CO₂ générées lors de la production de l'électricité. Le contenu avec ACV prend en compte l'ensemble du CO₂ émis au cours de toutes les étapes du cycle de vie, depuis l'extraction des matières premières, en passant par la fabrication, le transport, la distribution, etc. La production d'électricité à partir de thermique classique est de loin la plus émettrice de CO₂, que ce soit dans la combustion de la ressource que dans la construction des diverses infrastructures, allant jusqu'à 1265 g par kWh pour les turbines à gaz (avec ACV). C'est plus du triple des émissions des centrales à cycle combiné au gaz ou la cogénération. Enfin, les ENR et le nucléaire sont des énergies très peu émettrices de gaz à effet de serre (5 gCO₂/kWh avec ACV).

Figure 88 : Evolution du cours du quota de CO₂ au comptant et à terme (en € courant)



Source: Bluenext, Février 2011

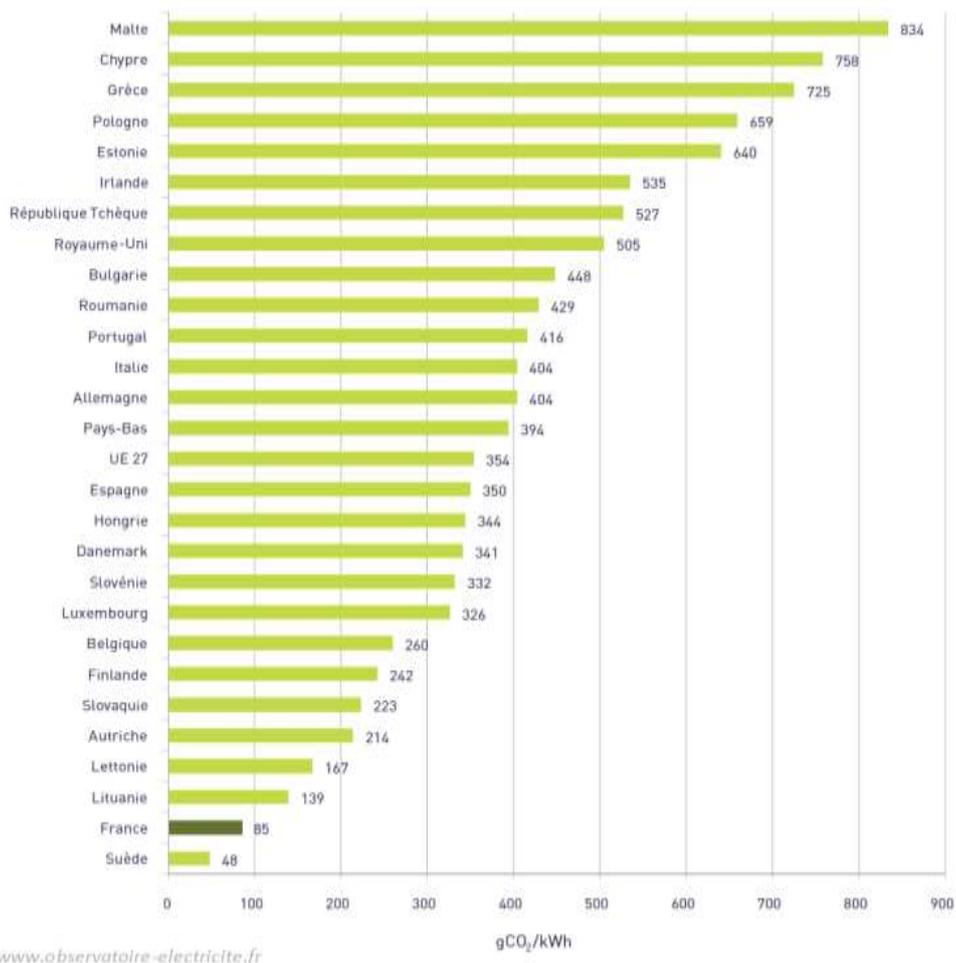
Ce graphique présente l'évolution du cours du quota de CO₂ sur le marché européen d'échange de quotas depuis son lancement : "**European Union Emissions Trading Scheme**" (EU ETS).

Deux produits, entre autres, évoluent sur ce marché : le quota de CO₂ au comptant (également appelé "spot" en anglais) et le quota de CO₂ à terme avec livraison à fin décembre 2012 (également appelé "futures" en anglais).

Une première période pilote ("Phase I") a été initiée entre 2005 et 2007. Une deuxième période ("Phase II") couvre les années 2008 à 2012. La phase I s'est caractérisée par une volatilité importante et une valeur nulle du quota en fin de période, du fait de la non-possibilité d'utiliser ces quotas pour la phase suivante ("non-bankability"). En phase II, le cours du quota a oscillé autour de 25€ jusqu'en septembre 2008, puis a subi une baisse importante (-65% sur la période octobre 2008-février 2009) en conséquence directe de la crise économique. Les prix à terme suivent la même tendance que les prix spot sur la seconde période en restant en moyenne plus élevés de 2,23€. La valeur du carbone s'établit maintenant à 13€/tCO₂. L'absence d'accord international à la suite de la conférence de Copenhague concernant des engagements juridiquement contraignants pour les pays industrialisés devrait aboutir à une nouvelle chute de la valeur du carbone.

Le fait que l'Union européenne (avec la Norvège et la Suisse) ait été lors de la conférence de Durban de décembre 2011 les seules parties à maintenir leur engagement dans le protocole de Kyoto (après les retraits du Canada, de l'Australie, de la Russie et du Japon) laisse augurer un marché du carbone très restreint d'ici 2020. On prévoit dès lors une valeur du carbone qui pourrait tourner autour de la valeur et 7 à 8 \$/tCO₂.

Figure 89 : Contenu carbone de l'électricité et de la chaleur en Europe



Source: AIE, Emissions from fuel combustion, 2008

Ce graphique compare le contenu carbone du kWh d'électricité et de chaleur selon les pays européens.

La France est le second pays le moins émetteur de CO₂ en Europe pour la production d'électricité et de chaleur juste après la Suède. Le contenu carbone du kWh français est plus de quatre fois inférieur à celui de la moyenne européenne grâce à son parc de production majoritairement nucléaire et hydraulique.

❖ Données par pays et indicateurs

Emissions de gaz à effet de serre et tendances

Elles sont en augmentation rapide depuis 1945 et connaissent leur augmentation la plus forte en valeur absolue en 2004. Elles concernent majoritairement le CO₂ : 77% du total (en termes de

potentiel de réchauffement global). Parmi les autres, on s'intéresse principalement aux CH₄, N₂O et aux gaz fluorés (SF₆, PFC, HFC).

Un petit nombre de pays sont responsables d'une grande majorité des émissions ; parmi eux, des pays ayant des populations et des économies parmi les plus importantes (sont donc concernés à la fois pays développés, en voie de développement et économies en transition). **En l'absence d'actions politiques, les émissions augmenteraient de 50% d'ici 2025 par rapport au niveau actuel.**

Emissions par tête

Seul un nombre limité de pays les plus émetteurs de GES ont aussi les émissions par tête les plus importantes. Ces émissions varient largement pour certains pays selon la prise en compte ou non du CO₂ issu du changement d'utilisation des sols et des gaz à effet de serre autres que CO₂.

Généralement, les émissions par tête les plus importantes correspondent aux pays les plus riches mais il existe beaucoup d'exceptions (pays à revenus intermédiaires). Les accords internationaux basés sur une égalité des émissions par tête rendent tout consensus difficile en raison des différences de circonstances nationales regroupant des profils d'émissions par tête similaires.

Intensité des émissions

On définit l'intensité comme le niveau d'émissions CO₂ par unité de production économique. Celle-ci varie largement entre les pays selon la structure économique, l'efficacité énergétique et le mix énergétique. **Une baisse d'intensité reflète un découplage progressif entre croissance des émissions et croissance économique.**

Emissions cumulées

La plupart des plus grands émetteurs actuels sont aussi les plus importants émetteurs historiques. Les contributions historiques par pays varient largement selon la période de temps considérée et la prise en compte ou non du CO₂ issu du changement d'utilisation des sols.

Développement socio-économique

Un aspect frappant des principaux pays émetteurs de gaz à effet de serre est la disparité de niveau de développement (mesuré par le revenu par tête et l'indice de développement humain). Par conséquent, le succès des réponses politiques internationales repose sur la différenciation des capacités nationales et le soutien des opportunités de développement.

Energie et carburants

Le charbon est à ce jour le combustible prépondérant dans la génération d'électricité. Sa croissance future significative rend nécessaire son utilisation réduite ou le développement de la séquestration géologique du carbone.

Il est indispensable de réduire la dépendance des principaux pays émetteurs au pétrole, en particulier dans le secteur des transports, où il a le monopole.

Le gaz naturel a un contenu carbone moindre que les autres combustibles fossiles. Sa substitution aux consommations de charbon et de pétrole permet donc de réduire les émissions.

Commerce international

Il a connu une forte croissance ces dernières décennies. Les émissions et consommations énergétiques pour la production de produits à fort contenu carbone comme les produits chimiques, les véhicules motorisés, l'acier, l'aluminium... sont attribués aux pays d'origine et non de destination (ou de consommation).

Ainsi, un niveau bas d'émissions est trompeur pour les pays importateurs de biens à fort contenu carbone et inversement. **Une méthodologie de comptabilité des émissions basée à l'inverse sur la consommation plutôt que sur la production demeure complexe et controversée – notamment par les pays fortement importateurs de biens carbonés auxquels le système de comptabilité actuel permet de se décharger de leurs responsabilités sur leurs émissions.**

En conséquence, un système de comptabilité alternatif devra être développé avec la possibilité d'objectifs de réduction d'émissions différenciés.

Electricité et chaleur

Leurs émissions représentent **25% du total des émissions mondiales de gaz à effet de serre** (premier secteur émetteur), soit 32% du total des émissions de CO₂ et 43% des émissions de CO₂ liées à l'énergie. La production d'électricité (68% des émissions du secteur) représente à elle seule 17% du total des émissions de gaz à effet de serre, alors que la production chaleur contribue à hauteur de 5% au total des émissions de gaz à effet de serre.

Tableau 28 : Ventilation des émissions mondiales de GES par secteurs, au niveau de la consommation

	Electricité	Chaleur
Bâtiments	Résidentiel : 23%	Résidentiel : 39%
	Tertiaire : 19%	Autres : 8%
Industrie	35%	33%
Production & procédés	9%	9%
Pertes transmission & distribution	9%	7%
Agriculture	2,3%	
Transport	1,4%	

Source : ADEME

Tableau 29 : Ventilation des émissions mondiales de GES par secteurs, au niveau de la production

	Electricité	Chaleur
Charbon	38%	36%
Gaz	20%	53%
Nucléaire	17%	
Hydraulique	16%	

Source : ADEME

Transport

Le transport est responsable de **14% du total des émissions de gaz à effet de serre**, soit 18% du total des émissions de CO₂ et 24% des émissions liées au secteur de l'énergie. Le transport routier (72% des émissions du secteur) contribue à hauteur de 10% du total des émissions de gaz à effet de serre et l'aviation (12% des émissions du secteur) à hauteur de 2%. Il reste cependant très difficile d'attribuer ces émissions (transports internationaux).

Les sources d'énergie utilisées pour les transports sont :

- Pétrole : 96%
- Gaz : 3%
- Biomasse : 0,5%

❖ Le rôle majeur des territoires

Les collectivités locales sont en première ligne de la lutte contre le changement climatique. En effet, s'il s'agit d'un phénomène planétaire qui exige une prise en charge solidaire de tous les pays, les actions pour lutter contre le changement climatique nécessitent une implication forte de tous les niveaux territoriaux.

Aux niveaux international, européen et national de fixer des objectifs, de déterminer la politique énergétique, de programmer des réglementations thermiques, d'élaborer des obligations envers les grandes branches industrielles, de mettre en place des dispositions fiscales et des mécanismes de financement... Mais en dehors des grands investissements, la plupart des actions à engager se situent à un niveau infra.

C'est au niveau territorial que l'essentiel des actions peuvent être conduites : qualité de la construction neuve et surtout réhabilitation du parc bâti, développement des énergies renouvelables, organisation des politiques de transport, dispositions d'aménagement du territoire et d'urbanisme, adaptation aux impacts du changement climatique d'ores et déjà enclenchés, transformation des méthodes agricoles, animation de l'ensemble des acteurs économiques d'activités et de tailles différentes et surtout implication des citoyens et transformation des comportements.

Si les premiers plans climat nationaux n'ont pas eu les résultats escomptés de réduction des émissions, c'est parce qu'ils ne comptaient aucune mobilisation territoriale. Le constat en a été fait en 2004. A cela, les lois Grenelle ont répondu en décidant la réalisation de Plans climat énergie

territoriaux dans tous les territoires de plus de 50.000 habitants et la réalisation de Schémas régionaux climat air énergie.

Progressivement, les dispositions de ces plans devront être transcrites dans les documents de planification territoriaux : PLH, PDU, PLU, Scot... ces deux derniers ayant force prescriptive.

Ces politiques nouvelles devront s'élargir et s'approfondir, la loi prévoyant leur révision tous les cinq ans, c'est-à-dire en pratique lors de chaque mandat électif local.

Comme il est clair que la lutte contre le changement climatique ne pourra être gagnée sans une forte implication territoriale, on s'achemine vers un **renforcement croissant des politiques territoriales dans les domaines du climat et de l'énergie** qui devront à un moment être transcrits dans un texte législatif de décentralisation.

La dispersion de polluants persistants

Les polémiques concernant la qualité de l'air urbain, et la nocivité des particules fines émises par les moteurs diesel, devraient disparaître avec la mise en œuvre de technologies basées sur l'usage des énergies renouvelables.

Si ce n'est la question de la surveillance de l'usage des HFC dans les pompes à chaleur, notamment leur recyclage en fin de vie des équipements, **les énergies renouvelables et la maîtrise de l'énergie ne posent pas de problème de controverses concernant leur impact sur la qualité de l'air**. Certaines installations de géothermie de haute température, lorsque la qualité des fluides le nécessite, doivent cependant mettre en œuvre des techniques de traitement des émissions de SO₂ ou de radon.

POINT D'ETAPE

La question du changement climatique – objet de polémique actuel entre ceux qui reconnaissent le sérieux des travaux du GIEC et les « climato-sceptiques » - doit être considérée comme réglée dans le cas de cette étude. En effet, le fondement même d'une transition vers une économie écologique repose sur la nécessité de changer de modèle, pour **appliquer le « facteur 4 » et réduire les émissions de GES découlant de l'usage des combustibles fossiles**.

De même, les polémiques concernant la qualité de l'air urbain, et la nocivité des particules fines émises par les moteurs diesels, devraient disparaître avec la mise en œuvre de technologies basées sur l'usage des énergies renouvelables. Si ce n'est la question de la surveillance de l'usage des HFC dans les pompes à chaleur, notamment leur recyclage en fin de vie des équipements, **les énergies renouvelables et la maîtrise de l'énergie ne posent pas de problème de controverses concernant leur impact sur la qualité de l'air**. Certaines installations de géothermie de haute température, lorsque la qualité des fluides le nécessite, doivent mettre en œuvre des techniques de traitement des émissions de SO₂ ou de radon.

La déforestation s'est amplifiée dans les années 1980, et s'est encore accéléré dans les années 1990. Le comité des forêts de la FAO, dans son rapport sur l'Etat des forêts en 2007¹³⁹, estime que la situation en Afrique est particulièrement préoccupante puisqu'elle concentre à elle seule la moitié de la déforestation mondiale. Trois millions d'hectares de forêts tropicales ont ainsi été rayés de la carte entre 1990 et 2005 (l'équivalent chaque jour de la surface de Paris). Entre 2000 et 2005, sur l'ensemble de la planète, la perte nette de forêts s'établit à 7,3 millions d'hectares par an, soit 20.000 hectares par jour.

Pourtant, la communauté internationale dans son ensemble s'accorde à reconnaître l'importance majeure des forêts, comme actrices de la préservation de la biodiversité et des écosystèmes, de la lutte contre le changement climatique et de la survie de populations entières. **La question de la préservation de la forêt est intimement liée à des questions de développement.**

Ainsi, la ceinture vitale formée par l'Amazonie, le Bassin du Congo et le complexe forestier ombrophile d'Asie du Sud-Ouest couvre 15% de la surface de la planète et renferme 35% du carbone de la biosphère terrestre. Ces forêts abritent 90% de biodiversité et nourrissent 90% des 1,2 milliards de personnes vivant dans l'extrême pauvreté.

Les fonctions de la forêt

❖ La régulation des écosystèmes

De nombreuses espèces qui se trouvent dans les forêts africaines, notamment équatoriales, sont uniques au monde. Cette biodiversité est essentielle : des usages médicaux en sont fait, souvent irremplaçables par des molécules de synthèse. On estime à 27 000 le nombre d'espèces animales et végétales perdues chaque année à cause de la déforestation. **La forêt contribue également au cycle de l'eau, à la régulation du climat, à la protection des sols, au stockage de carbone...**

❖ Les fonctions économiques

La forêt constitue à la fois une **source d'énergie** essentielle pour les populations locales (bois de feu) et une **source de subsistance** (sous-produits issus du couvert forestier : miel, cire, plantes médicinales, viandes, gibier, peaux).

❖ Les fonctions sociales de la forêt

La forêt a des fonctions sociales très importantes. Elles sont à la fois une source d'identité et un lieu de vie pour de nombreuses populations locales. A l'exemple des Pygmées, peuples de la forêt, dont la survie est menacée par la destruction de leur habitat. Quelques chiffres afin d'illustrer ces propos :

- *Plus de deux milliards d'habitants* tirent de la forêt leur moyen d'existence, leur nourriture, leur médicament, leur énergies pour la cuisson...(PNUD) ;
- *1,2 milliards d'habitants* dépendant des systèmes agro-forestiers (BM) ;
- *350 millions de personnes* vivent dans les forêts (FAO).

¹³⁹ FAO, *Situation des forêts du monde 2007*, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 2007

❖ La valeur culturelle de la forêt

Les forêts ont une valeur culturelle et spirituelle. Certains arbres sont perçus par les communautés comme des esprits et elles sont souvent des lieux de sépultures. La forêt joue un rôle important dans l'imaginaire traditionnel et dans les contes oraux, qui tiennent une place essentielle dans la culture africaine par exemple.

Les principales causes de déforestation

La déforestation et la dégradation des forêts ont plusieurs causes :

❖ L'extension des terres cultivées

Elle est le fait des paysans ne possédant pas de terres, a fortiori ceux qui disposent des revenus les plus faibles. L'agriculture progresse dès lors par défrichage du couvert forestier, à la fois pour cultiver de nouveaux champs de façon permanente et pour disposer de pâturages pour un élevage extensif.

❖ La culture sur brûlis

Le processus de déforestation est encore aggravé par l'organisation systématique de feux pour pouvoir effectuer des cultures sur brûlis. Ces incendies se propagent souvent bien au-delà de la zone choisie pour la culture.

❖ L'exploitation du bois d'œuvre

L'industrie du bois, particulièrement avide de bois tropicaux tirés des forêts primaires à forte valeur ajoutée, a vu sa production doubler en 20 ans. S'il s'agit là d'une source importante de revenu pour les pays, **cette exploitation forestière opère souvent en l'absence de réglementation nationale**. La mauvaise gouvernance de l'industrie du bois a alimenté des trafics illégaux, ce qui amplifie un processus de déforestation anarchique. La création de voies d'accès afin de faciliter l'exploitation des forêts est un autre des facteurs de déforestation liée à l'industrie forestière.

Le **secteur de la production de pâte et de papier** est celui dont l'expansion est aujourd'hui la plus forte, notamment dans quatre pays d'Afrique australe et orientale (Kenya, Madagascar, Tanzanie, Zimbabwe). Les principaux demandeurs de produits ligneux issus des forêts anciennes sont l'Amérique du Nord, l'Europe (avec la France en tête) et le Japon : ces pays, qui représentent 1/5 de la population mondiale, consomment plus de la moitié de la production mondiale de bois industriel et plus de deux tiers du papier. Les pressions combinées de l'industrie du bois et de l'exploitation agricole sur brûlis ont privé le continent africain de 9% de sa surface forestière entre 1990 et 2005.

❖ Les autres exploitations forestières

Les attentes des pays développés en produits « exotiques » (demande d'huile de palme utilisée dans l'alimentation et les cosmétiques) augmentent elles aussi, poussant les agriculteurs vers des méthodes de production à la fois extensives et intensives, au détriment du couvert forestier.

❖ La dégradation des forêts

L'exploitation du bois conduit souvent au remplacement de la forêt primaire par une forêt plantée pour des essences à croissance plus rapide, utilisable à des fins diverses : bois d'œuvre, panneaux, bois de trituration, bois combustible, palmier à huile... Si en termes de surface plantée, il s'agit encore d'une forêt, celle-ci constitue **une double dégradation : un moindre stockage de carbone par rapport à la forêt primaire et surtout une perte presque totale de biodiversité.**

❖ La collecte de bois de feu

La collecte de bois feu contribue à la déforestation, dans deux contextes très différents :

Dans les forêts équatoriales et tropicales

Elle prend la forme d'une déforestation systématique en forme de tâche autour des grandes villes par les populations n'ayant pas accès à d'autres modes de cuisson. Ce processus est par exemple particulièrement net autour de Kinshasa, en République Démocratique du Congo.

Dans les zones de savane et les zones pré-désertiques

La pression croissante qui découle de l'accroissement démographique se traduit par une pression de plus en plus forte sur tout le couvert végétal. Dans la plupart des zones, les populations ne peuvent se contenter de récolter du bois mort mais en viennent à prélever toute biomasse combustible. Ce processus ne déclenche pas seulement une déforestation mais enclenche également de façon irrémédiable la désertification.

❖ L'extension des villes et des infrastructures routières

Le développement **d'infrastructures** (réseau routier, projets d'aménagement...) et les extensions liées à **l'urbanisation croissante** nécessitent de libérer des espaces, souvent au détriment des forêts. C'est notamment le cas en Amazonie.

Les facteurs qui favorisent la déforestation

Les facteurs sont nombreux et variés. On peut mentionner :

❖ La croissance démographique

Elle joue un rôle prépondérant au travers de ses répercussions sur d'autres facteurs (hausse de la demande de bois de feu, de bois d'œuvre, de nourriture, d'espace d'habitat).

❖ L'accès aux terres

Les régimes de propriété foncière, de fermage et de droit d'exploitation entraînent dans de nombreux pays la non-exploitation de terres cultivables laissées en friches, ce qui traduit :

- La **faiblesse des institutions gouvernementales et locales** (et les insuffisances législatives) ;
- Les politiques relatives à la fiscalité et au développement avec une **sous-évaluation de la valeur des forêts naturelles** (coût réel de la gestion forestière mal compris) ;
- La **pauvreté** en tant que condition socio-économique.

D'une part, les populations pauvres n'ont pas accès à d'autres énergies que le bois de chauffe comme énergie principale (notamment pour la cuisson). Cette utilisation est l'une des sources principales de pression sur le couvert forestier en Afrique. En effet, le rendement énergétique du feu de bois étant très réduit, la consommation de bois par ménage est très importante. D'autre part, la pauvreté des agriculteurs, qui n'ont pas accès aux intrants pour produire plus, les oblige à défricher davantage.

Ces populations sont donc à la fois des contributeurs nets au phénomène de déforestation tout en étant totalement dépendants de l'existence des forêts. **Forêt et pauvreté sont liées : la pauvreté implique plus de déforestation et la déforestation se fait au détriment des plus pauvres.**

❖ Des facteurs de déforestation variables suivant les Etats

Régions	Facteurs de déforestation
Afrique	Culture sur brûlis ; bois de feu ; huile de palme
Amérique latine	Grandes plantations de soja et élevage de bœuf pour l'exportation (cf. intervention de la Bolivie à Bonn I)
Asie du Sud-Est	Huile de palme, café, bois (teck notamment)

La principale cause de déforestation (hors Europe) est donc l'agriculture, qu'elle soit destinée à nourrir la population ou à l'exportation.

❖ Des niveaux de déforestations variables

	Couvert forestier faible (< 50%)	Couvert forestier élevé (> 50%)
Niveau de déforestation élevé (> 0,22%/an)	<p><u>Groupe A</u> : 44 pays (ex Guatemala, Thaïlande, Madagascar...)</p> <p>Etendue de la forêt : 28%</p> <p>Stock total de carbone forestier : 22%</p> <p>Niveau annuel de déforestation : 48%</p>	<p><u>Groupe B</u> : 10 pays (Papouasie-Nouvelle-Guinée, Brésil, Congo...)</p> <p>Etendue de la forêt : 39%</p> <p>Stock total de carbone forestier : 48%</p> <p>Niveau annuel de déforestation : 47%</p>
Niveau de déforestation faible (<0,22%/an)	<p><u>Groupe C</u> : 15 pays (République dominicaine, Angola, Vietnam...)</p> <p>Etendue de la forêt : 20%</p> <p>Stock total de carbone forestier : 12%</p> <p>Niveau annuel de déforestation : 1%</p>	<p><u>Groupe D</u> : 11 pays (Suriname, Belize, Gabon...)</p> <p>Etendue de la forêt : 13%</p> <p>Stock total de carbone forestier : 18%</p> <p>Niveau annuel de déforestation : 3%</p>

Les conséquences de la déforestation

❖ Forêt et changement climatique : un double enjeu

Les forêts tropicales jouent un rôle important dans le changement climatique : d'un côté, elles constituent de véritables **puits de carbone limitant le phénomène de réchauffement climatique** (les forêts en Afrique sont les capteurs propres des émissions carbonées relâchées dans l'atmosphère) ; de l'autre, **la déforestation et le brûlis provoquent l'émission de GES**, en particulier de CO₂. Quand les arbres sont coupés ou brûlés, la capacité d'absorption du CO₂ par le couvert forestier diminue et le carbone qu'ils stockaient est relâché dans l'atmosphère.

En 2004, les émissions dues à la déforestation représentaient environ 17% des émissions de gaz à effet de serre, et presque **28% des émissions globales de CO₂**, ce qui fait de la déforestation la troisième source d'émissions, après la production d'énergie et l'industrie, et avant le transport.

Selon le climatologue Philippe Ciais, un hectare de forêt tropicale plantée sur un sol nu permettrait ainsi de stocker 350 tonnes de carbone. Un milliard de dollars par an consacré à des actions de lutte contre la déforestation permettrait ainsi d'éviter l'émission d'environ un demi-milliard de tonne de carbone par an (*étude du PNAS publiée en juillet 2008¹⁴⁰*).

Par contre, une exploitation de la forêt suivie d'une replantation équivalente est neutre du point de vue du carbone stocké.

❖ Impact de la déforestation sur les populations

À mesure que la déforestation progresse, le fardeau des femmes et des enfants augmente : ils doivent parcourir une distance toujours plus grande pour s'approvisionner en bois et autres produits forestiers. Cette charge supplémentaire diminue le temps qu'ils pourraient consacrer à d'autres tâches pourtant indispensables. Dans le Sahel, par exemple, les femmes doivent parfois parcourir 20 kilomètres par jour pour trouver le bois nécessaire à la cuisson des aliments. Avec moins de combustibles, la quantité et la qualité de la nourriture diminuent. C'est la vie et le bien-être de l'ensemble de la communauté qui en sont affectés. Avec moins de combustibles disponibles, on observe un accroissement des flux de migration, notamment vers les zones urbaines.

La problématique forestière dans les négociations internationales sur le changement climatique

La lutte contre le changement climatique, mais également celle contre la pauvreté et pour le développement, ne pourra se faire sans un solide accord sur la question des forêts.

La Papouasie-Nouvelle Guinée, soutenue par le Costa Rica et huit autres pays, ont proposé la mise en place d'un mécanisme de réduction des émissions résultant du déboisement et de la dégradation des forêts et le rôle de la conservation, de la gestion durable des forêts et de l'accroissement des stocks de carbone forestiers dans les pays en développement (**REDD+**) lors de la Conférence des Nations Unies sur le changement climatique (CCNUCC) à Montréal, en 2005. Depuis, un nombre important d'avancées ont été réalisées dans la mise en œuvre opérationnelle de ce mécanisme qui s'appuie sur le dédommagement financier des pays agissant en faveur de la protection des forêts et luttant contre la déforestation et la dégradation des forêts.

Les régimes et politiques internationaux de protection des forêts sont les suivants :

Déclaration de principe à Rio pour la promotion de l'utilisation soutenable des forêts.

Lancement en 1998 d'un programme de lutte contre l'industrie du bois illégale par le G8 en 1998.

Création de l'AFLEG (African Forest Law Enforcement and Governance).

Adoption en 2002, sous l'impulsion de la Banque Mondiale, d'un code forestier international.

¹⁴⁰ "Global cost estimates of reducing carbon emissions through avoided deforestation", PNAS July 29, 2008 vol. 105 no. 30 10302-10307

Accentuation du contrôle de la légalité des titres existants, développement de moratoires sur l'attribution de nouveaux titres forestiers.

Mise en place de Programmes de reforestation dans le cadre du Protocole de Kyoto. Ces projets ne représentent que 1% des crédits obtenus sur la base des MDP.

Mise en place d'un mécanisme REDD+.

Les forêts en France

❖ A la recherche d'une gestion durable des forêts

La surface des forêts françaises couvre aujourd'hui 15 millions d'hectares, soit plus du quart du territoire, dont 74 % sont détenus par les privés. Les forêts publiques, de l'Etat (10 %) ou des collectivités territoriales (16 %) sont gérées par l'Office national des forêts (ONF). **La plus grande partie de la forêt française a pour vocation de produire du bois d'œuvre de qualité dans le cadre d'une gestion durable, soucieuse de la conservation de la diversité biologique et du maintien des potentialités des sols, en évitant toute action irréversible.** La filière forêt-bois regroupe plus de 450 000 personnes, aux métiers très différents, mais complémentaires.

En 2007, le prix moyen brut des forêts était estimé à 5 540 euros/ha ; le volume sur pied, pour les productions seules, se montait à 2,4 milliards de m³ et la récolte totale de bois s'élevait à près de 60 millions de m³, dont 37 % non commercialisés et 44 % de bois certifiés provenant de forêts gérées durablement.

La gestion des forêts est règlementée depuis le XVIIe siècle (Colbert) en France. Actuellement le code forestier donne les principes règlementaires de la gestion forestière. Ceux-ci se déclinent nationalement et localement par un certain nombre de textes propres aux forêts publiques domaniales (appartenant à l'État), aux autres forêts publiques (appartenant à diverses collectivités) et aux forêts privées qui représentent près des 3/4 de la surface forestière française.

❖ Les enjeux pour la France

Développer la production du bois pour la construction et la production d'énergie tout en préservant l'environnement et la biodiversité et en soutenant la lutte contre le changement climatique, tels sont les principaux enjeux de la gestion de la forêt sur le territoire français.

Concrètement, il s'agit de :

Développer la filière bois dans le cadre d'une gestion durable de la forêt, en organisant et en surveillant les interventions pratiquées afin de garantir son maintien et son renouvellement et opter pour des produits de très bonne qualité, valorisables économiquement.

La filière bois connaît aujourd'hui un déficit alors même que la surface forestière en France est la 3ème des pays de l'Union européenne, et que la demande ne cesse d'augmenter. Pour autant, le développement de cette filière bois doit préserver l'équilibre entre les différentes fonctions de la forêt.

Préserver l'environnement et la biodiversité, en évitant des cycles de production (les coupes) trop courts, afin de garantir la présence d'arbres âgés ou morts, habitats naturels permettant la conservation de nombreuses espèces.

Si aucune espèce n'est menacée de disparaître complètement du territoire français métropolitain à court ou moyen terme, certaines essences devront faire l'objet de conservation de graines : une banque de gènes a ainsi été créée par la commission des ressources génétiques forestières.

Respecter un bon équilibre entre les différentes filières : les filières de production d'énergie à partir de la combustion du bois et les filières de fabrication de panneaux de particules et de pâte à papier, en particulier.

Atténuer et anticiper les conséquences du changement climatique.

L'amélioration des connaissances est nécessaire pour évaluer les conséquences du changement climatique sur la forêt française et déterminer les mesures à prendre. L'objectif principal est aujourd'hui de garantir la pérennité des forêts, des espèces qui les composent, et des habitats qu'elles représentent.

Chaque année, ce sont 80 millions de tonnes de CO₂ qui sont absorbées par la forêt française. Les coupes effectuées maintiennent en effet les arbres dans une période de croissance où ils absorbent une grande quantité de carbone. Une piste pour valoriser le stockage de carbone : expérimenter un système permettant de rémunérer les propriétaires et gestionnaires de forêts qui, par leurs actions, conserveraient et augmenteraient la quantité de carbone stockée par celles-ci.

Maintenir les loisirs qu'offre la forêt : les randonnées, les promenades...

L'aménagiste ne peut plus se cantonner à un simple rôle de technicien de la forêt : il gère bien plus qu'une simple ressource en bois. Il doit tenir compte de sensibilités écologiques, territoriales et de plus en plus sociales. La fréquentation des espaces boisés a explosé en trente ans.

POINT D'ETAPE

Les forêts sont aujourd'hui menacées par le besoin croissant en terres agricoles, l'urbanisation et l'exploitation des ressources qu'elle contient. A l'échelle internationale, **la principale cause de déforestation reste l'agriculture**. Or les forêts jouent un rôle fondamental dans la régulation du climat, constituant de véritables **puits de carbone limitant le phénomène de réchauffement climatique**. La déforestation détruit non seulement ces puits de carbone, mais **provoquent également des émissions de GES**, en particulier de CO₂, via la pratique du brûlis.

Le **mécanisme REDD+** constitue la réponse des Nations Unies face à ces questions. Ce programme de lutte contre la déforestation prend en compte la capacité de stockage de carbone des forêts, la bonne gouvernance et l'aménagement des forêts (respect des droits des populations autochtones et des membres des communautés locales) et la protection de la diversité biologique et des services écosystémiques.

En France, l'enjeu d'une gestion durable des forêts consiste à **développer la production du bois pour la construction et la production d'énergie, tout en préservant l'environnement et la biodiversité et en soutenant la lutte contre le changement climatique**. L'écosystème forestier est aujourd'hui essentiellement valorisé en regard de sa fonction traditionnelle d'approvisionnement en bois. Or, une

approche intégrée est indispensable pour mettre en avant les autres services associés à la forêt, notamment de régulation et récréatifs.

Chapitre 5 : L'agriculture et les ressources alimentaires

L'agriculture est entièrement imbriquée dans l'ensemble des problématiques soulevées par la gestion des ressources naturelles dans les chapitres précédents. Ce dernier chapitre permet d'illustrer les enjeux d'une approche systémique et intégrée de la question des contraintes sur les ressources et des limites d'absorption de l'environnement.

La question principale est la suivante : dans un contexte de crise écologique, compte tenu des perspectives de croissance démographique, la production alimentaire mondiale parviendra-t-elle à suivre la croissance des besoins alimentaires ? Depuis les émeutes de la faim en 2008, et l'envolée des prix des matières premières agricoles, la question de la sécurité alimentaire mondiale quand de nouveaux défis se présentent pour les modèles agricoles face aux atteintes environnementales, notamment.

En effet, la « révolution verte » (bond technologique favorisé notamment par la mise au point de variétés à haut rendement, le recours aux intrants, la mécanisation et l'irrigation) lancée dans les années 60 et le modèle agro-industriel, gros consommateurs d'intrants et d'énergie, atteignent actuellement leurs limites. Après une augmentation certes spectaculaire des rendements¹⁴¹, et des gains économiques importants, l'agriculture industrielle voit à présent sa productivité stagner, voire régresser dans certaines régions.

La sous alimentation chronique touche encore un nombre très important de personnes, près de 870 millions¹⁴², dont 850 millions (15% de la population mondiale) vivent dans les pays en développement. La plupart de ces populations vivent dans les zones rurales et pratiquent une agriculture de subsistance. L'évolution favorable depuis les années 1990 de ces estimations, (baisse progressive plus prononcée que celle attendue), s'est nettement ralentie depuis les crises alimentaires, économiques et financières, de 2008. La cible de l'Objectif du Millénaire pour le Développement, relative à la réduction de moitié de la prévalence de la sous alimentation d'ici 2015, ne saurait être atteinte sans inversement de cette tendance, estime la FAO.

L'environnement et les ressources naturelles ont par ailleurs payé un lourd tribut à la « révolution verte » : pollution et pressions très fortes sur les ressources en eau (pour l'irrigation), salinisation et appauvrissement des sols, perte de biodiversité, consommation accrue de minerais (potasse et phosphates) ainsi qu'en ressources énergétique (dépendance aux hydrocarbures). Les impacts socio-économiques sur les milieux agricoles n'ont pas été neutres, notamment lorsque ces réformes ont été mises en place de manière brutale dans les pays en développement : exodes ruraux, déstructuration des économies locales, explosion des bidonvilles...

¹⁴¹ Ils ont été multipliés par 2,5 en Asie entre 1960 et 2000 et plus de 2 dans les pays de l'OCDE en terme de calories végétales/ha cultivé (source Agrimonde INRA-CIRAD reprenant les données de la FAO).

¹⁴² « Etat de l'insécurité alimentaire dans le monde », FAO, octobre 2012.

La croissance agricole est le premier outil de lutte contre la faim et la malnutrition. Parallèlement, une tension sur les productions alimentaires aura des conséquences sur les autres productions biologiques (production d'agro-carburants, de matériaux, de meubles, de fibres textiles, d'isolants, de papier). Des arbitrages entre les différents usages et priorités seront donc à effectuer.

Pour nourrir convenablement bientôt 9 milliards d'habitants sur la planète à l'horizon 2050, il est clair que l'agriculture mondiale devra évoluer, s'adapter de façon à concilier productivité, préservation des ressources et perspectives d'avenir pour des paysanneries de plus en plus fragilisées, dans un contexte économique très inégalitaire. Au Nord comme au Sud, le lien entre les pratiques agricoles et le mode de gestion des ressources naturelles qu'elles supposent, et les enjeux sociaux est particulièrement fort.

Diversité et dualité des modèles agricoles et alimentaires dans le monde

On trouve des configurations très contrastées pour les façons d'assurer la nourriture selon le niveau de développement.

Dans les pays peu développés, l'agriculture vivrière est fortement présente. De fait elle assure la moitié de la production alimentaire mondiale. La plupart de ces agriculteurs sont des femmes qui cultivent sur des surfaces exigües pour assurer la subsistance de leur famille avec des techniques ancestrales et des rendements faibles. Ces agriculteurs sont fortement dépendants des aléas climatiques et exposés à la malnutrition.

Jusque dans les années 1960 en France et en Europe dominait l'agriculture familiale/paysanne, encore peu motorisée vouée à la polyculture et en partie autarcique.

Si ces modes d'exploitation sont en perte de vitesse, leur connaissance approfondie des milieux, les réponses qu'ils apportent sous la contrainte d'une économie de moyens, sont de mieux en mieux prises en compte¹⁴³ dans la réflexion sur une insertion plus harmonieuse des pratiques agricoles dans leur environnement. La FAO reconnaît que ce type d'agriculture favorise la biodiversité.

A l'autre extrémité, dans les pays anciennement industrialisés, l'agriculture est surtout un fournisseur de matières premières pour de puissantes industries agro-alimentaires, elle est insérée dans des systèmes de commercialisation nationaux et internationaux. La consommation de produits bruts de l'agriculture par les ménages est devenue très minoritaire. Cette organisation des filières, caractéristique de l'agriculture industrielle, tournée vers la maximisation des quantités produites, jointe à la standardisation de méthodes culturales à haut rendement issues de la révolution verte, pousse à une forte concentration des exploitations agricoles.

C'est ce que l'on observe en France. Sur le million d'hectares de terres agricoles libéré en moyenne chaque année, 10 % quittent la superficie agricole utile, c'est l'artificialisation. Mais sur les 900 000 hectares qui restent, 500 000 ha sont destinés à l'installation et 400 000 ha servent à l'agrandissement d'exploitations de plus en plus sous forme de sociétés. L'agriculture familiale est en perte de vitesse.

Mais ces tendances pourraient s'inverser à la faveur de la diffusion des méthodes plus respectueuses de l'environnement.

¹⁴³ Cf IAASTD, article de J Loyat, dans encyclopédie du développement durable

L'agriculture, une activité en interaction avec les milieux naturels, qui peut être prédatrice

Les chapitres précédents concernant les milieux que sont les sols et l'eau, ou la biodiversité, ont déjà abordé les atteintes à l'environnement liées au modèle agro-industriel issu de la révolution verte. Dans ce chapitre nous reprenons ces thèmes en les complétant.

Les terres disponibles et la qualité des sols

Sur l'ensemble de la surface terrestre (environ 51 milliards d'hectares), la superficie des terres émergées est estimée à 15 milliards d'ha. La surface agricole utile (SAU – territoire consacré à la production agricole) représente 5 milliards d'ha, soit :

- 3,4 milliards d'ha de terrains de parcours, [pâturages](#) ;
- 1,4 milliard d'ha en [terres arables](#) ;
- 140 millions d'ha en plantations diverses.

❖ Des surfaces cultivables inégalement réparties sur la planète

Les superficies de terres utilisables en culture pluviale (sans besoin ou possibilité d'irriguer), et non encore cultivées, sont très étendues à l'échelle du monde, en particulier en Amérique du Sud et en Afrique subsaharienne. En revanche, cette ressource apparaît rare, voire épuisée, au Moyen-Orient et en Asie.

Alors que les surfaces cultivées ont augmenté de 12 % depuis 1961, les scénarios 2050 étudiés ci-dessus envisagent, soit une diminution, soit une augmentation modérée inférieure à 10 % lorsqu'ils tablent sur une augmentation forte des rendements, soit une augmentation forte, aux alentours de 20 %, pour des scénarios alternatifs avec de moindres gains de rendement. Ces évolutions de surfaces, relativement proches les unes des autres, sont inférieures au potentiel de terres cultivables non cultivées, en excluant les forêts, les terres peu convenables et marginales et les espaces qui seront artificialisés. Le taux de terres cultivables effectivement cultivées en 2050 varie ainsi de 66 % à 84 % (en tenant compte des biocarburants).

Les superficies cultivables du monde apparaissent donc très supérieures aux superficies nécessaires pour garantir la sécurité alimentaire de l'humanité. Mais la valorisation durable des ressources en terres cultivables requiert des politiques publiques appropriées de prix agricoles, d'accès à la terre et de recherche-développement orientées vers les besoins et les possibilités des producteurs pauvres.

La France jouit de conditions favorables qui lui permettent de mettre en culture **36% de son territoire**, c'est-à-dire 19,6 millions d'hectares sur 55, soit trois fois plus que la moyenne des pays dans le monde.

En quarante ans, **la surface agricole mondiale a augmenté de seulement 9% alors que la population mondiale a fait un bond de 50%**. Un hectare moyen cultivé sur la planète devait nourrir deux personnes en 1960, trois en 1980, contre quatre aujourd'hui et six en 2050. On touche maintenant

aux limites physiques de la planète, même si quelques disponibilités existent encore en Amazonie, et dans certaines zones d'Asie et d'Afrique tropicales ou sont attendues du fait de la fonte du permafrost. Le réchauffement climatique entraînerait probablement un accroissement, modeste, des superficies cultivables du monde, mais une diminution dans les pays en développement, notamment en Asie du Sud et du Sud-Est où cette ressource est déjà rare.

Les méthodes issues de la révolution verte, notamment, en pratiquant une exploitation intensive des ressources du sol, font l'impasse sur la question de l'entretien de leur qualité organique. Les sols disponibles sont largement touchés par l'érosion, la désertification, le compactage, la baisse de qualité organique, voire la salinisation dans certaines régions. Ils sont parfois pollués par des métaux lourds et autres substances toxiques.

❖ Le phénomène d'accaparement des terres cultivables

Depuis quelques années, les terres font l'objet d'acquisitions foncières à l'extérieur de leurs frontières de la part de pays déficitaires (Proche Orient et Chine notamment), qui veulent assurer leur sécurité alimentaire, ou d'investisseurs étrangers pour qui l'exploitation de ces terres devient un placement très rentable dans un contexte de crise alimentaire et de hausse des prix des matières premières agricoles.

Ce sont le plus souvent les pays en développement qui sont les victimes (parfois consentantes) de ces acquisitions. La Banque mondiale estime ainsi qu'**en 2009, 45 millions d'hectares de terres agricoles dans les pays en développement – soit deux fois la surface agricole française – ont fait l'objet de transactions ou de négociations.** Qu'il s'agisse d'achat direct de terres à son propriétaire ou de la signature de baux emphytéotiques, les populations locales ne sont, en général, pas consultées. Elles disposent pourtant de droits d'usage ou de gestion collectifs issus de la coutume mais qui continuent d'être peu sécurisés juridiquement. De telles acquisitions reviennent alors à priver ces populations des ressources naturelles nécessaires à leur subsistance.

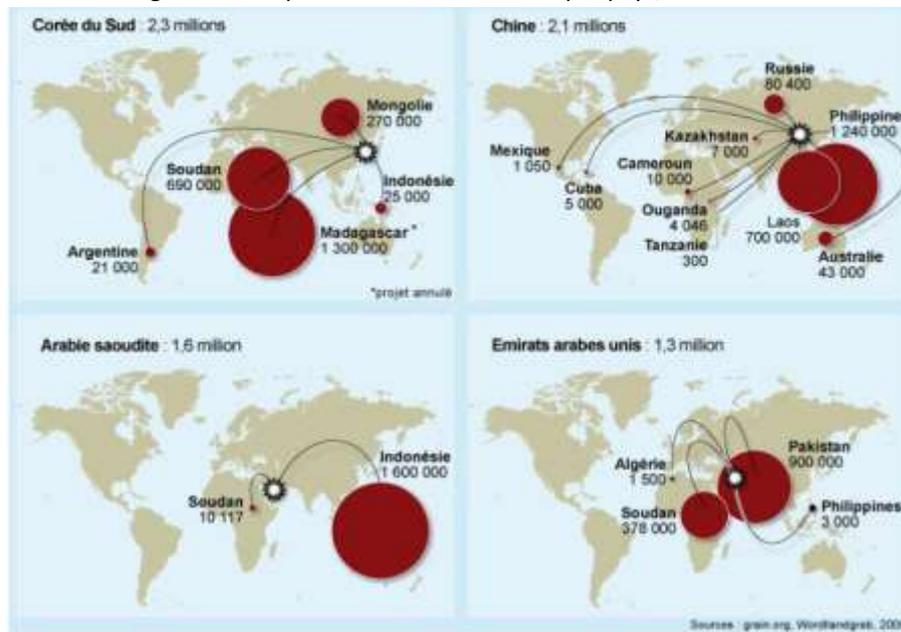
La tendance à l'appropriation à grande échelle de terres arables et de richesses naturelles n'est pas un phénomène nouveau. Néanmoins les accaparements de terres revêtent aujourd'hui une dimension nouvelle. Ils ne passent plus par un recours à la force mais utilisent des moyens politiques, là où les droits des populations sur leurs ressources manquent de protection juridique. De plus, les projets couvrent désormais des superficies considérables

Parmi les impacts les plus fréquents sur les populations locales figurent :

- le **recul de l'agriculture paysanne et familiale**, avec un impact négatif sur l'emploi agricole direct et un risque d'exode rural.
- le **mépris des droits de propriété et d'usage de la terre** ;
- l'**augmentation des prix des terres** entraînant des difficultés d'accès pour les agriculteurs nationaux ;
- la **dégradation de la sécurité alimentaire** des populations locales et du pays hôte ;
- la **dégradation de l'environnement**, avec des risques accrus de déforestation, de destruction d'écosystèmes, de surexploitation des ressources en eau, et d'utilisation massive d'engrais chimiques et de monocultures.

Politiques foncières stables et équitables, dispositifs de préservation des forêts, protection des droits des populations locales, font partie des solutions qui permettraient d'enrayer cette dégradation.

Figure 90 : Acquisition de terres arables par pays, en hectares



L'usage agricole de l'eau : contraintes sur les disponibilités, pollutions et conflits d'usage

La nécessité de satisfaire des besoins alimentaires croissants à l'horizon 2050, face aux limites atteintes dans les zones productives, conduit à rechercher un accroissement des rendements dans les zones faiblement productives. Le recours à l'irrigation est une première manière d'accroître ces rendements. Or, la disponibilité des ressources en eau pose de plus en plus de problèmes. En Inde et en Chine, l'approvisionnement en eau des zones agricoles est sérieusement menacé, et des investissements énormes ont été entrepris pour canaliser les fleuves et édifier des barrages. En Asie centrale, au Maghreb et au Moyen Orient, les ressources en eau sont rares et contraignent le recours à l'irrigation. L'Amérique latine est mieux dotée, ainsi que l'Afrique tropicale, où ces ressources sont encore faiblement exploitées. Mais l'avancée de la désertification dans bon nombre de régions du monde rend toute activité agricole impossible et pousse les populations à migrer.

Les recherches pour accroître l'efficacité des systèmes d'irrigation ou pour acclimater des variétés moins gourmandes en eau sont donc primordiales.

En France même, zone tempérée aux conditions climatiques favorables, les conflits d'usage se multiplient entre l'agriculture (qui absorbe déjà la majeure partie des ressources en eau), et les autres usages économiques et domestiques, suite aux épisodes de sécheresse qui se succèdent à présent dans des régions habituellement bien arrosées (en particulier dans l'ouest du pays).

Il est un fait que l'usage intensif des fertilisants et des traitements phytosanitaires dans les méthodes culturales issues de la révolution verte contribue à une pollution des cours d'eau et des nappes phréatiques. La France est menacée de contentieux par la Commission Européenne, car elle n'a pas pris des mesures suffisantes pour infléchir les habitudes et obtenir le retour à une bonne qualité environnementale de ses eaux.

Les fertilisants : des ressources limitées

L'essentiel des engrais provient des produits azotés issus du gaz naturel, du phosphate naturel, et du potassium. Or, ces trois ressources sont concentrées dans quelques régions de la planète (la Russie et le Moyen Orient pour le gaz naturel, la Chine et le Maroc pour le phosphate par exemple), et voient leur abondance diminuer à moyen et long terme. Leur coût est donc de plus en plus élevé tendanciellement, ce qui les rend inaccessibles aux agricultures des PED notamment. L'usage de ces ressources minérales est typiquement non-durable de par le fait que même si elles sont relativement abondantes elles sont inégalement réparties, et en définitive de plus en plus rares et chères. Mais surtout, elles sont non recyclables. En effet, l'usage de ces substances en agriculture ne permet aucune forme de récupération.

La dépendance du modèle agro-industriel aux énergies fossiles

La mécanisation de l'agriculture, les opérations comme le labour, les produits chimiques destinés aux cultures, les avancées technologiques dans l'élevage, ou encore les serres, sont largement dépendant des hydrocarbures. Or, comme nous l'avons vu dans la partie sur les ressources fossiles, la ressource pétrolière devient de plus en plus rare et chère. Et pourtant, c'est encore une minorité des agriculteurs de la planète qui a aujourd'hui accès aux techniques de l'agriculture industrielle et de la révolution verte.

Raison de plus pour rechercher des méthodes culturales plus économes en intrants.

La déforestation et l'érosion de la biodiversité

L'agriculture participe elle-même de la réduction de la diversité biologique à divers titres : réduction du nombre de plantes cultivées, monoculture, réduction du nombre de variétés¹⁴⁴, déforestation dans certaines régions du monde, disparition des habitats des oiseaux et des espèces, effets de certains pesticides sur les insectes pollinisateurs, pollution génétique des OGM, ...

A contrario, elle peut être aussi partie de la solution pour participer au retour des espèces, à la diversité des paysages écologiques, et à la gestion durable des écosystèmes naturels, sous réserve que les pratiques agricoles évoluent vers des modèles intensivement écologiques.

Climat et agriculture : un impact à réduire

❖ Les impacts de la production agricole sur le réchauffement climatique

Un rapport de la FAO affirmait que la production de viande était à l'origine de 18 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Les émissions de gaz à effet de serre liés à l'élevage concernent notamment le méthane fabriqué durant la digestion et l'azote provenant des excréments qui, au contact de l'air, se transforme en protoxyde d'azote (N₂O). Mais il faut aussi tenir compte des sources induites par l'alimentation du bétail, sachant qu'il faut trois kilos de grains pour produire un kilo de porc et sept kilos pour un kilo de viande rouge.

¹⁴⁴ Sur environ 250 000 variétés végétales propres à la culture, seules environ 7000 sont cultivées. Or ne pas cultiver mène à l'abandon, voir à l'extinction. Les ¾ de la population mondiale dépendent de 12 espèces végétales, la moitié des 3 mégacultures que sont le riz, le blé et le maïs.

Pour produire cette alimentation, il faut beaucoup d'énergie, donc des émissions de CO₂, pour faire fonctionner les machines agricoles et produire des engrais azotés. Il convient d'intégrer à ce bilan l'effet du changement d'usage des sols, un champ cultivé stockant moins de carbone qu'une prairie permanente.

Sur la base de l'ensemble de ces paramètres, une équipe de chercheurs a calculé les émissions des élevages de l'Union européenne. Bilan : 611 millions de tonnes d'équivalent CO₂, soit 13 % des émissions de gaz à effet de serre de l'Union européenne. La répartition de ces émissions est la suivante : bovins à viande, 29 % ; vaches laitières, 29 % ; porcs, 25 % ; autres produits animaux (volailles, œufs...), 17 %.

Les leviers qui permettraient de réduire les émissions de l'élevage sont les suivants : réduire la fertilisation azotée, développer les pâturages, limiter les émissions de méthane liées à la décomposition à l'air libre du fumier et du compost ; au niveau du consommateur, réduire la consommation de viande... surtout de viande rouge.

Si l'on se place d'un point de vue mondial, la transformation en terres agricoles de terrains qui avaient jusqu'alors échappé à cet usage a un impact considérable. Les émissions qu'elle provoque dépassent largement celles qui sont dues à la production agricole et à l'énergie qu'elle consomme. **Toute conversion d'un terrain en surface arable a pour effet de dégager des gaz à effet de serre**, car exception faite des déserts et milieux semi-désertiques, ainsi que des surfaces bâties, c'est ce type de sol qui, en moyenne, retient le moins de carbone.

Les préconisations de l'agriculture écologiquement intensive ont pour conséquence de réduire ces impacts.

En retour, **le changement climatique se traduit par des contraintes nouvelles pour l'agriculture** : plus d'événements extrêmes (pluies torrentielles et inondations, sécheresses prolongées), plus de variabilité climatique, et, en France, vraisemblablement moins d'eau disponible. Ceci pourrait remettre en cause par exemple la culture du maïs dans certaines régions. Les pratiques agricoles devront donc évoluer pour s'adapter à ce nouveau contexte.

Vers des modèles agricoles plus durables : la révolution doublement verte

Le plateau atteint par les rendements des méthodes issues de la révolution verte, leur mauvais bilan environnemental ont conduit les agronomes à rechercher et expérimenter d'autres moyens pour l'agriculture de remplir sa fonction nourricière en respectant les écosystèmes. Tournant le dos aux méthodes standards à base de chimie introduites dans la seconde moitié du 20^{ie} siècle, nombre d'agronomes recommandent maintenant l'utilisation intelligente des processus biologiques et écologiques du terrain pour améliorer la production agricole, techniques recouvrant diverses appellations : agro-écologie, permaculture, agriculture de conservation, agriculture écologiquement intensive, ...

Il y a 20 ans, des agriculteurs du Paraguay ont cessé de labourer les terres et ont pratiqué à la place le semis direct. Cette technique a permis une hausse des rendements de 1 à 30 %. Elle est aujourd'hui pratiquée sur 2,2 millions d'hectares, soit 65 % de la surface agricole du pays.

L'agroforesterie donne de bons résultats dans les zones arides. Au Niger, les plantations d'acacias ont des besoins réduits en eau et fournissent des engrais verts. Au pied des arbres, il est possible de cultiver des légumineuses dont les rendements sont ainsi multipliés par 2,5.

Face au manque d'eau, les paysans sahéliens construisent de petites digues de pierre autour de leurs champs. Cela permet de réduire le ruissellement pendant la saison des pluies, d'améliorer l'humidité des sols et de recharger les nappes phréatiques. Au Sénégal, ces diguettes ont entraîné une hausse de 5 à 10 % des rendements céréaliers.

Au Kenya, des rangs de desmodium, une plante qui piège les insectes, quadrillent les champs de maïs sur quelques milliers d'exploitations. Grâce à cette technique, leur production a doublé. De plus, le desmodium sert aussi à nourrir le bétail, ce qui a permis aux paysans d'augmenter leur production de lait.

La Chine a annoncé, en janvier 2011, un vaste programme visant à encourager l'agriculture de conservation et la préservation des ressources en eau.

Comparant les résultats de 286 projets récents d'agriculture durable couvrant 37 millions d'hectares dans 57 pays pauvres, une équipe d'universitaires a constaté que l'agro-écologie avait entraîné une augmentation moyenne des récoltes de 79 % (116 % en Afrique et même 128 % en Afrique orientale).

Promues depuis longtemps par de nombreuses organisations paysannes et associations de solidarité, ces pratiques rencontrent de plus en plus de soutien au sein des gouvernements, des grandes institutions appuyant le développement agricole telles que la FAO ou la Banque mondiale et des instituts internationaux de recherche agronomique. L'intérêt pour l'agro-écologie ne se limite pas aux pays dont les rendements agricoles sont faibles, des groupements d'agriculteurs ayant opté pour des pratiques plus respectueuses de l'environnement prospèrent dans nombre de pays développés où domine l'agriculture industrielle. En témoigne l'agriculture biologique en Europe.

La généralisation des pratiques d'agro-écologie reste complexe : pour valoriser le potentiel des écosystèmes il faut faire du sur-mesure, chaque région ayant ses particularités. Il est probable que l'extension de ces pratiques sera favorable à la création d'emplois qualifiés dans le secteur.

Si l'agro-écologie permet d'accroître aisément les rendements dans les pays où ils sont très faibles. Il n'en va pas de même dans les régions où ceux-ci sont très élevés. La suppression des engrais chimiques s'y traduirait par une moindre productivité à l'hectare. En Suisse, les fermes biologiques auraient un rendement inférieur de 20 % aux fermes conventionnelles. Pour l'Inra, une utilisation très limitée d'intrants chimiques réduirait les rendements de 5 à 10 % seulement.

Une agriculture à la fois productive et respectueuse de l'environnement supporte a priori des coûts de main d'œuvre plus élevés que l'agriculture conventionnelle. Mais déjà, dans le secteur de

l'élevage, l'expérience du CEDAPA¹⁴⁵, montre que ce surcoût est largement compensé par les économies d'intrants, laissant aux éleveurs adeptes de cette méthode un revenu largement plus élevé, jusqu'à 60 % du chiffre d'affaire contre 30 % pour l'élevage intensif. La méthode du CEDAPA consiste à nourrir les animaux le plus longtemps possible au pâturage, moins coûteux à produire que le maïs. A l'herbe est associé du trèfle, légumineuse qui capte l'azote de l'air et le transforme en élément nutritif pour la prairie. Il n'est pas nécessaire alors d'apporter de l'engrais chimique, les déjections épandues par les animaux au pâturage suffisent¹⁴⁶. Une étude de l'INRA sur un échantillon d'élevages bovins dans cinq régions de France a corroboré ces affirmations. En règle générale les revenus (nets des amortissements) des éleveurs extensifs (élevage à l'herbe) sont sensiblement supérieurs à ceux des élevages intensifs.

Pour la plupart des productions agricoles, les perspectives de renchérissement des intrants et de pénalisation accrue des pollutions chimiques, la meilleure valorisation des productions auprès des populations soucieuses pour leur santé, donnent toute leur chance aux revenus futurs de l'agriculture intensivement écologique. Il faut des politiques de soutien, une diffusion des méthodes agro-environnementales par l'enseignement agricole et tout l'environnement de conseil aux agriculteurs et l'organisation de filières de commercialisation adaptées.

Le rôle d'une agriculture écologiquement intensive dans la préservation du climat

L'agriculture peut contribuer dans une mesure appréciable à préserver le climat, notamment en veillant non seulement à conserver les stocks de carbone encore présents dans les sols mais aussi à les accroître, par une action favorisant la constitution d'humus, qui est un puits de carbone. Elle préserve le climat en réduisant ses consommations indirectes d'énergie, notamment par le biais de la fabrication des engrais, et en fournissant à des fins énergétiques de la biomasse produite selon des méthodes compatibles avec la nature et l'environnement.

Les fermes exploitées selon les principes biologiques s'abstiennent de recourir à des engrais minéraux et produits phytosanitaires, alors que leur emploi détériore le bilan énergétique et climatique de l'agriculture conventionnelle. Certaines études comparatives sur le bilan de l'agriculture au regard de la consommation de matières premières et d'énergie mais aussi du stockage du carbone démontrent que celle de type biologique est en moyenne moins gourmande en apports énergétiques et azotés que celle de type conventionnel. Même si l'on tient compte des rendements plus élevés atteints par cette dernière, la première se distingue par un potentiel plus réduit d'émissions de gaz à effet de serre. Pour cette raison le gouvernement fédéral allemand, par exemple, considère que sa promotion apporte un renfort à la lutte contre le changement climatique.

L'agriculture contribue à la préservation du climat lorsqu'elle renonce à transformer les espaces boisés, tourbières, zones humides et autres pâtures en labours, lorsqu'elle réduit ses émissions de protoxyde d'azote et de méthane en recourant à des méthodes culturales qui préservent les sols, en

¹⁴⁵ Le Centre d'études pour un développement agricole plus autonome (CEDAPA) est une association d'éleveurs créée en 1982 par André Pochon qui a popularisé une méthode d'élevage bovin écologiquement intensive. L'expérience du CEDAPA a fait des émules et a débouché sur le réseau Agriculture durable – le RAD – qui coordonne 30 associations sur l'Ouest de la France et sur le réseau « Impact » au plan national.

¹⁴⁶ <http://www.cedapa.com/actions.htm>

assurant autant que possible leur couverture permanente, par des cultures intercalaires, en y effectuant des assolements à plusieurs composantes, en leur appliquant une fumure appropriée, etc.

Des résultats très prometteurs ont été obtenus lors d'essais de « cultures mixtes », consistant, par exemple, à semer sur une seule et même parcelle des légumineuses et des oléagineux en même temps que des variétés de céréales : le procédé permet de diminuer fortement les apports d'engrais et les épandages de pesticides, tout en accroissant aussi la biodiversité et en favorisant la formation d'humus.

La gestion de l'humus revêt une importance décisive pour la préservation du climat. Il conviendra de veiller davantage à le maintenir à un niveau aussi stable et élevé possible, tout particulièrement dans le cas des terres arables, où cet impératif nécessite souvent de modifier la rotation des cultures. Les institutions de recherche devraient poursuivre leurs recherches afin de déterminer les meilleurs procédés possibles de préservation de l'humus. A cet égard, la question de la place à accorder à la gestion traditionnelle du fumier, celle de l'utilisation intégrale des plantes, telle qu'elle est prévue dans le cadre des biocarburants de deuxième génération, devront être réexaminées.

La diffusion des pratiques de l'agro-écologie est donc favorable à l'environnement et à l'emploi. Elle s'accorde mieux avec la demande des consommateurs, inquiets des conséquences de l'usage intensif des intrants chimiques pour leur santé. Elle met en évidence la **multifonctionnalité de l'agriculture** qui n'est pas seulement en charge de la production destinée à la nourriture mais également responsable de l'entretien des milieux avec lesquels elle travaille. Dans une perspective de développement durable les politiques de soutien à l'agro-écologie doivent rémunérer cette fonction d'entretien des écosystèmes.

Les ressources alimentaires de l'avenir, étroitement dépendantes des ressources biologiques, sont liées d'abord à la capacité de l'agriculture d'améliorer sa productivité dans les pays déficitaires, à l'aide de politiques publiques pertinentes, et de modèles plus adaptés au contexte et aux spécificités de leurs écosystèmes. Et ensuite de mener une révolution « doublement verte », qui permette de sortir des impasses du modèle agro-industriel, dont l'impact est trop lourd aussi bien sur les écosystèmes que sur les équilibres sociaux.

Le recours controversé aux biotechnologies et à la transgénèse

La biotechnologie a toujours été à l'avant-garde du changement. Vu sa rapidité et son ampleur, il y a un manque significatif de transparence dans la communication. L'évaluation de la biotechnologie moderne n'a pas suivi le rythme des progrès; les informations sont souvent fragmentaires et contradictoires, les avantages et les inconvénients sont mal connus.

L'application des biotechnologies modernes, notamment l'utilisation des plantes génétiquement modifiées, est très controversée. Par exemple, les données recueillies pour certaines années et certaines plantes génétiquement modifiées indiquent des gains de rendement allant de 10 % à 33 % dans certaines régions et des baisses de rendement dans d'autres régions.

Les droits de propriété intellectuelle sur les semences OGM limitent la liberté des agriculteurs. Bien que cela attire l'investissement dans l'agriculture, cela concentre dangereusement les ressources agricoles entre les mains d'un petit nombre de firmes. La polarisation de la recherche sur la biotechnologie comporte le risque de négliger d'autres recherches agricoles et de réduire le nombre de spécialistes d'autres sciences agricoles fondamentales. **On craint en particulier que les instruments en place relatifs aux droits de propriété intellectuelle n'entraînent à terme la conservation des semences ainsi que l'échange, la vente et l'accès aux matériaux brevetés dont les chercheurs indépendants ont besoin pour effectuer leurs analyses et expériences.**

Une réorientation utile de la recherche-développement en biotechnologie serait **d'investir dans des priorités locales définies suivant une démarche participative et transparente**, en privilégiant les solutions multifonctionnelles. Une telle démarche requiert l'encouragement du public à participer activement à l'évaluation des effets de la biotechnologie moderne sur les plans technique, social, politique, culturel, juridique, sexospécifique, environnemental et économique. Les biotechnologies devraient servir à préserver les compétences et le matériel génétique locaux. Ces travaux de recherche-développement mettraient l'accent sur les projets participatifs de sélection végétale et sur l'agro-écologie.

Les grandes tendances d'évolution de l'offre et de la demande

Les projections de la demande alimentaire à l'horizon 2050, pour une population estimée à 9 milliards d'habitants environ contre 7 milliards actuellement, nécessitent un accroissement de l'offre agricole, dont l'ampleur peut varier selon les hypothèses retenues.

Les projections mondiales de la demande alimentaire

❖ Géographie des besoins et productions agricoles

Les évolutions démographiques des pays émergents, les conditions climatiques plus ou moins favorables à l'avenir pour l'agriculture, la disponibilité des terres arables, les politiques publiques de soutien à l'agriculture, influent considérablement sur la répartition de la production dans les grandes régions du monde et leur autonomie alimentaire.

- Ainsi, la Chine et l'Inde sont devenus de grands producteurs et exportateurs de matières premières alimentaires, suite à l'augmentation très importante des rendements dans la culture du riz. Mais ils sont aussi de grands importateurs au fur et à mesure que la demande

des classes moyennes progresse vers des régimes alimentaires comparables aux régimes occidentaux (produits laitiers et carnés, sucres et graisses, produits transformés...).

- L'Amérique latine, et notamment l'Argentine et le Brésil, tirent bénéfice de ces évolutions en fournissant des quantités de plus en plus importantes de viande, et de soja (le plus souvent OGM) destinées à nourrir les élevages du monde entier, au détriment de la forêt amazonienne notamment.
- L'agriculture de l'Union européenne et des Etats-Unis reste relativement prospère, en gardant néanmoins des politiques de soutien financier à un niveau élevé, malgré les contestations de pays concurrents et les injonctions de l'OMC.
- Enfin l'Afrique, qui verra sa population plus que doubler d'ici à 2050, connaît une situation contrastée, entre l'avancée des déserts et les pénuries des régions les plus sèches, et les conditions favorables de la zone tropicale et subtropicale, qui possèdent des ressources en eau et en terres fertiles.

❖ Les projections en matière de demande alimentaire

Toutes les études de prospective en la matière, quels que soient les scénarios retenus, envisagent **une augmentation de la demande alimentaire mondiale entre 2000 et 2050, comprise entre +40% et +68% en calories**. La variation dépend des hypothèses d'évolutions démographiques, des régimes alimentaires (avec plus ou moins de produits d'origine animale), et de capacité à réduire pertes et gaspillages.

L'augmentation de la demande alimentaire aura trois causes :

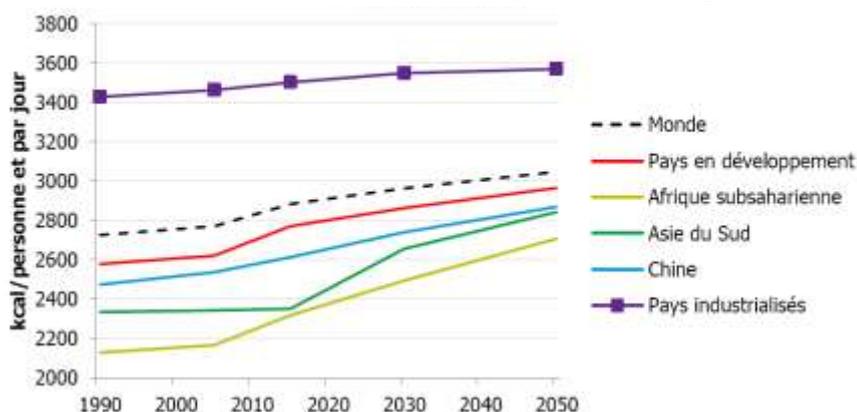
- La nécessité de résorber la famine qui frappe actuellement entre 800 millions et 1 milliard d'habitants chaque année et celle de résoudre les carences d'autres populations mal nourries.
- La capacité de faire face à l'accroissement de la population mondiale (de 7 milliards d'habitants actuellement à plus de 9 en 2050 selon les prévisions des Nations Unies) ; cet accroissement de la population va toucher surtout les pays en développement et les plus pauvres, ceux qui sont déjà en déséquilibre alimentaire ;
- Les changements de régime alimentaire (plus riche, plus carné) dès que le niveau de vie s'élève.

L'un des enjeux majeur va être **le régime alimentaire** qu'adopteront les classes moyennes des pays émergents. Actuellement, plus du tiers des calories végétales (hors pâtures) sert à l'alimentation animale, et ce chiffre monte à 58 % dans les pays de l'OCDE. Une demande alimentaire augmentée de +70%, comme le prévoient certains scénarios, signifierait une **pression encore plus forte sur les terres disponibles, les ressources en eau, la déforestation**, alors même que la demande en agrocarburants, en écomatériaux végétaux, ou en chimie « verte » s'accroît également. Cette pression accrue ne serait pas soutenable pour l'équilibre de la planète.

❖ Différentes hypothèses d'évolution des régimes alimentaires

Les travaux de prospective sur la demande alimentaire présentent des résultats très différents, notamment en produits animaux. Pour faire face à la demande alimentaire, une augmentation de 70 % de la production agricole est souvent avancée mais elle se base sur l'adoption du régime carné occidental par les classes moyennes des pays émergents.

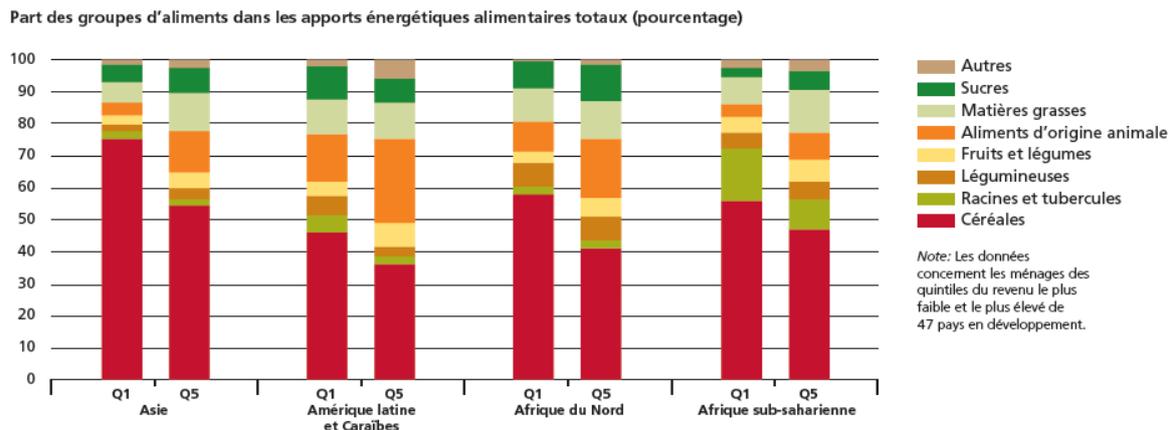
Figure 91 : Projections de la FAO de consommation alimentaire par tête et par région du monde



D'autres scénarios sont étudiés. La fourchette des hypothèses de consommation individuelle moyenne en calories est comprise entre une stabilisation et une augmentation de près de 30 %. Cette variabilité des évolutions moyennes en calories tient à des différences importantes de consommation de produits d'origine animale, qui varie ainsi entre - 50% et + 80 % selon les exercices. En effet, il faut entre 3 et 14 kg de produits végétaux pour produire 1 kg de viande (selon le type et le système de production).

Ces variations proviennent essentiellement de divergences sur l'appréciation des liens entre croissance économique, urbanisation et adoption d'un régime occidental riche en graisse et produits animaux. Ce phénomène a effectivement été observé dans nombre de pays et décrit sous le terme de « **transition nutritionnelle** », pour faire le parallèle avec la transition démographique.

Cependant, il n'y a pas de « déterminisme » en la matière puisque, pour un même niveau de développement, des niveaux de consommation de viande très différents peuvent être observés. Ainsi, la transition nutritionnelle chinoise a été plus rapide que celle observée en Europe. À l'inverse, les préférences culturelles et religieuses peuvent freiner la transition nutritionnelle, et notamment la croissance de la consommation de viande. Cela a été le cas pour le Japon, pays très développé mais où la consommation de viande est faible. C'est le cas en Inde, où le végétarisme lié à l'hindouisme reste important.



Source: FAO, analyse des enquêtes menées auprès des ménages.

Si la transition nutritionnelle s'est faite très rapidement dans certains pays émergents, rien n'empêche de penser que d'autres évolutions majeures puissent se produire d'ici 2050. **On observe en effet une deuxième transition nutritionnelle dans les pays développés** : les catégories très aisées et les couches moyennes supérieures sont généralement les premières à intégrer les messages nutritionnels et à diminuer leur consommation de graisse et de viande, et les autres groupes sociaux adoptent souvent, avec un décalage, leurs modes de consommation. Plusieurs facteurs pourraient donc favoriser une prise de conscience des impacts sur la santé d'un régime alimentaire trop riche en produits carnés, dont l'élévation du niveau d'éducation des populations (qui devrait être particulièrement forte en Chine et en Inde).

❖ La relation entre régimes alimentaires et pressions sur les ressources naturelles

La production de ruminants est génératrice de gaz à effet de serre (méthane, dioxyde de carbone et protoxyde d'azote) de manière directe (respiration, rumination) ou indirecte (alimentation animale, transformation, transport), cette dernière composante devenant de plus en plus importante avec l'intensification de la l'élevage. Toutefois, il est important d'être prudent concernant l'impact environnemental des productions animales. En effet, on peut considérer que l'on trouve un avantage à produire des animaux qui optimisent l'usage des ressources végétales (ils broutent de la pâture, et donc des fibres que les humains ne peuvent digérer) et apportent une fumure organique. Des avantages de la production de ruminants résident encore dans la valorisation de terres souvent incultivables (zones d'altitude, de pentes, semi-arides...), et dans le stockage de carbone par ces surfaces.

❖ La question du gaspillage et des pertes de productions alimentaires

Le modèle agroindustriel génère un énorme gaspillage. Selon une étude britannique¹⁴⁷, un tiers de la nourriture achetée est jeté.

« Longtemps banalisé, considéré comme un co-produit de notre société d'abondance, le gaspillage alimentaire devient aujourd'hui un des enjeux majeurs dans la définition d'un système alimentaire durable ».

¹⁴⁷ Global Food Losses and Food Waste, FAO, 2011.

Alors que la malnutrition et la faim touchent près d'un milliard de personnes dans le monde, près de 30% des denrées alimentaires produites sont jetées, sans être consommées. Somme de pertes survenues à différents stades de la chaîne alimentaire, le gaspillage est le résultat d'une certaine organisation sociale, d'un ensemble de choix techniques, mais également d'une culture alimentaire propre à chaque pays.¹⁴⁸

Les scénarios en matière de production agricole

Dans la plupart des prospectives alimentaires réalisées, on distingue deux types de scénarios :

- **Les scénarios tendanciels** qui supposent une forte augmentation de la production agricole d'ici 2050, induite notamment par une augmentation de la consommation de viande (entre 85 et 150 %). Ces scénarios font également l'hypothèse d'une augmentation des rendements agricoles supérieurs à 65 % et d'une faible extension des surfaces cultivées, inférieure à 6 % ;
- **Les scénarios de rupture** reposent sur une augmentation plus faible des rendements (entre 7 et 19 %) donc une moindre intensification des méthodes agricoles, avec en conséquence une augmentation des surfaces plus forte (entre 13 et 23 %). Ces scénarios entraînent une évolution vers des régimes alimentaires moins carnés se traduisant par une plus faible augmentation des besoins agricoles (entre 28 et 43 %).

¹⁴⁸ Rapport du Ministère de l'agriculture, Pertes et Gaspillages alimentaires, nov. 2011, http://alimentation.gouv.fr/IMG/pdf/Pertes-gaspillages_RAPPORT270112_cle02c35d.pdf

La prospective INRA-CIRAD « Agrimonde »¹⁴⁹ s'interroge ainsi sur le devenir des systèmes agricoles et alimentaires mondiaux au travers de deux scénarios pour 2050.

Deux scénarios méritent d'être plus largement développés¹⁵⁰ : Agrimonde GO (AGO) et Agrimonde 1 (AG1), qui retiennent le même horizon temporel (2050) et les mêmes hypothèses de croissance démographique dans chaque zone et de migrations entre zones. Ils se différencient essentiellement par les trajectoires d'évolution des systèmes agricoles et alimentaires régionaux d'aujourd'hui à 2050, trajectoires qui traduisent deux visions contrastées du monde.

- **AGO : un scénario positif et tendanciel.** Il correspond à la prolongation des évolutions historiques des productions et des utilisations de biomasses alimentaires dans un monde totalement libéralisé. Priorité est donnée à la croissance économique et au bien-être matériel immédiat des hommes. La gestion des problèmes environnementaux est réactive, uniquement dès lors que ceux-ci deviennent trop aigus.

- **AG1 : un scénario normatif et de rupture.** Il vise un objectif, la durabilité des systèmes agricoles et agroalimentaires, et explore des trajectoires régionales d'évolution susceptibles de satisfaire cette ambition. Dans chaque région, les disponibilités alimentaires moyennes sont égales à 3000 kcal/hab/jour, dont 500 d'origine animale et aquatique. Cette norme unique suppose, d'un côté, une diminution de 25% des consommations individuelles apparentes dans les pays développés de l'OCDE et, à l'autre extrémité, une augmentation équivalente en pourcentage en Afrique subsaharienne. La gestion des écosystèmes et des questions environnementales est proactive.

Six défis majeurs peuvent être identifiés face auxquels le scénario propose des leviers d'action :

- le développement agricole et rural,
- l'innovation et sa diffusion,
- la gestion des ressources naturelles,
- le foncier et la durabilité sociale,
- les comportements alimentaires,
- les régulations et modes de gouvernance interrégionaux.

❖ Les gains de rendement envisagés

Les scénarios tendanciels convergent vers une augmentation des rendements mondiaux d'environ 70 % d'ici 2050. Les hypothèses tendancielles faites par région sont relativement convergentes, les plus grandes différences concernant l'Afrique. Ces scénarios supposent le plus souvent des

¹⁴⁹ Chaumet J-M., Delpuech F., Dorin B., Gheris G., Hubert B., Le Cotty T., Paillard S., Petit M., Rastoin J-L., Ronzon T., Treyer S., 2009, Agrimonde – Agricultures et alimentations du monde en 2050 : scénarios et défis pour un développement durable, Rapport CIRAD-INRA, 194p.

¹⁵⁰ Pour une synthèse voir l'article de l'Encyclopédie du développement durable rédigé par T.Ronzon et S.Paillard, Agrimonde 1 : « Un scénario pour des agricultures et des alimentations durables dans le monde à l'horizon 2050 », mars 2010, URL: <http://encyclopedie-dd.org/encyclopedie/economie/agrimonde-1-un-scenario-pour-des.html>

investissements importants en agriculture (recherche, infrastructures, irrigation) et des progrès technologiques soutenus.

Mais la croissance des rendements envisagée se heurte à des limites fortes. D'une part, on constate actuellement une moindre augmentation des rendements dans de nombreux pays. D'autre part, l'extension des surfaces cultivées devrait se faire majoritairement sur des terres à moindre potentiel de rendement, tandis que la dégradation des terres déjà cultivées limite également les évolutions futures. La raréfaction des ressources hydriques constitue également un frein important que le changement climatique contribuera à accentuer. **La plupart des exercices de prospective imaginent donc des scénarios alternatifs de moindre croissance des rendements (entre 7 % et 49 %), soit sous l'effet de crises agricoles, soit sous l'effet de limites environnementales et climatiques plus fortes.**

Quels que soient les scénarios, il est important de noter que les moyennes mondiales recouvrent des situations extrêmement différentes. L'essentiel des gains de production est à attendre des pays en développement. Les gains les plus forts sont envisagés en Afrique (où ils restent très inférieurs aux rendements théoriques potentiels), et surtout en Amérique latine. Les pays de l'ex-URSS sont souvent considérés comme un futur grenier à blé à l'échelle mondiale (l'atteinte de 90 % du rendement potentiel entraînerait des gains de plus de 120 % en Roumanie et en Ukraine), même si le développement effectif de ce potentiel dans le futur fait l'objet de controverses. Dans tous les exercices, les gains de rendement envisagés sont faibles en Asie et dans les pays développés, notamment en Europe, compte tenu des problèmes environnementaux et du niveau d'intensification déjà atteint.

Finalement, la comparaison des hypothèses de rendement montre **le haut degré d'incertitude et de manque de connaissance sur les potentiels de gains de rendement à l'horizon 2050**, notamment dans le cas d'une transition vers des systèmes agro-écologiques.

Les conditions socioéconomiques de réussite de la transition vers une agriculture durable

Pour que l'agriculture soit en mesure de nourrir la population mondiale durablement mais aussi de protéger les écosystèmes dont elle se nourrit, une réorientation des politiques agricoles est nécessaire. Il convient aussi d'assurer des conditions de vie décentes aux agriculteurs, les politiques de soutien à l'agriculture, initiées dans une optique de sécurité alimentaire sont aussi un facteur de développement dans les pays où les agriculteurs représentent une part importante de la population.

Les moyens de la transition

❖ L'approche ascendante et la mobilisation des ressources humaines

Tandis que l'agriculture industrielle repose sur des connaissances standardisées appliquées partout quelles que soient les conditions environnementales locales, l'agro-écologie tire partie des atouts spécifiques de chaque milieu pour optimiser la production. La connaissance spécifique de chaque écosystème qui est l'apanage des agriculteurs eux-mêmes doit donc être largement utilisée. Pour allier les connaissances des agriculteurs à celles provenant des laboratoires, il faudra forger de nouveaux partenariats entre agriculteurs, chercheurs et autres acteurs.

❖ L'importance d'accumuler de nouvelles connaissances en matière de technologies agricoles (AKST)

La réalisation des objectifs de développement et de durabilité passe par **une réorientation substantielle des connaissances, sciences et technologies agricoles** (*Agricultural Knowledge, Science and Technologies* - AKST), et par le renforcement des capacités des agriculteurs eux-mêmes à les alimenter¹⁵¹. Ceci implique l'avènement de nouveaux mécanismes institutionnels et modes d'organisation afin de promouvoir et diffuser les nouvelles AKST suivant une approche intégrée associant les agriculteurs aux scientifiques. Cette mutation reconnaîtrait les communautés agricoles, les ménages paysans et les exploitants comme des producteurs et gérants des écosystèmes. Les aides institutionnelles apportées devraient tenir compte de la multifonctionnalité de l'agriculture, nourricière mais aussi gardienne des écosystèmes

En termes d'objectifs de développement durable, ces mesures et changements institutionnels devraient concerner les groupes qui ont le moins tiré profit des approches antérieures des AKST, à savoir les agriculteurs pauvres, les femmes et les minorités ethniques (Botswana).

Les grandes exploitations et les fermes de taille moyenne restent aussi une cible importante pour la diffusion des nouvelles AKST qui peuvent y obtenir des résultats appréciables, notamment en termes d'exploitation durable des terres et de viabilité écologique des systèmes agroalimentaires.

Les nouvelles AKST peuvent contribuer à améliorer considérablement la sécurité alimentaire et l'impact environnemental, économique et social des systèmes agricoles. Elles peuvent aider à remettre en état les sols dégradés, à réduire les risques pour l'environnement et la santé associés à la production et à la consommation alimentaires, et à accroître durablement la production.

Pour réussir, il faudra **augmenter l'investissement public et privé dans les AKST, mobiliser un plus grand nombre de chercheurs, intégrer les savoirs traditionnels et locaux, créer et partager les connaissances suivant une approche interdisciplinaire et systémique, adopter des politiques et créer des institutions d'appui à l'élaboration et la diffusion des nouvelles AKST**.

❖ L'évolution nécessaire des politiques agricoles au niveau national, européen, international

En Europe le montant des soutiens à l'agriculture, sanctuarisé jusqu'en 2013, est de nouveau sur le tapis. Ce secteur, auquel 42 % des ressources financières de l'Union européenne sont consacrées, emploie 4,2 % de la population active contre plus de 8 % il y a dix ans. Justifiés à l'origine pour assurer la sécurité alimentaire de l'Europe, ces soutiens ont favorisé un modèle productiviste dont les dérives sont aujourd'hui pointées du doigt (destruction d'emplois, scandales alimentaires, pollution des sols et de l'eau...). De plus, l'agriculture européenne perd du terrain à l'export, concurrencée par les pays émergents qui dénoncent ces subventions. Sans aides cependant, peu de producteurs seraient en mesure de rémunérer leur travail. Mais les producteurs européens auront bien du mal à faire reconnaître la légitimité des soutiens qu'ils revendiquent si l'agriculture ne répond pas davantage aux attentes des citoyens en matière de qualité des produits et de protection de l'environnement.

¹⁵¹ Source : « Evaluation internationale des sciences et technologies agricoles pour le développement », IAASTD, 2008.

Voir l'article de l'Encyclopédie : Loyat Jacques, « IAASTD Une expertise collective internationale sur le rôle des connaissances, des sciences et technologies agricoles pour le développement ».

Le 12 octobre 2011, la Commission européenne a présenté un projet de réforme de la Politique agricole commune (PAC) pour l'après 2013. Ce projet vise à renforcer la compétitivité, la durabilité et l'ancrage de l'agriculture sur l'ensemble des territoires pour garantir aux citoyens européens une alimentation saine et de qualité, préserver l'environnement et développer les zones rurales.

❖ **Quelques points clefs de la réforme proposée¹⁵²**

Des aides aux revenus mieux ciblées pour dynamiser la croissance et l'emploi

Pour mieux valoriser le potentiel agricole de l'UE, la Commission propose de soutenir le revenu des agriculteurs de façon plus juste, plus simple et mieux ciblée. L'aide de base au revenu concernera uniquement les agriculteurs actifs. Elle diminuera à partir de 150.000€ (dégressivité) et serait plafonnée au-delà de 300.000€ par exploitation et par an, tout en prenant en compte le nombre d'emplois créés par les exploitations. Elle sera également distribuée de façon plus équitable entre les agriculteurs, entre les régions et entre les Etats membres.

Des outils de gestion des crises plus réactifs et mieux adaptés pour faire face aux nouveaux défis économiques

La volatilité des prix est une menace pour la compétitivité à long terme du secteur agricole. La Commission propose des filets de sécurité plus efficaces, plus réactifs pour les filières agricoles les plus exposées aux crises (stockage privé et intervention publique) et de favoriser la création d'assurances et de fonds de mutualisation.

Un paiement "vert" pour une productivité à long terme et des écosystèmes préservés

Afin de renforcer la durabilité écologique du secteur agricole et de valoriser les efforts des agriculteurs, la Commission propose de consacrer 30% des paiements directs à des pratiques permettant une utilisation optimale des ressources naturelles. Ces pratiques, simples à mettre en œuvre et efficaces du point de vue écologique, sont : la diversification des cultures ; le maintien de pâturages permanents ; la préservation de réservoirs écologiques et des paysages.

Des investissements supplémentaires pour la recherche et l'innovation

La Commission propose de doubler le budget de recherche et d'innovation agronomique et de faire en sorte que les résultats de la recherche se traduisent dans la pratique, à travers un nouveau partenariat pour l'innovation. Ces fonds permettront d'encourager les transferts de savoirs, le conseil aux agriculteurs et de soutenir des projets de recherche pertinents pour les agriculteurs en assurant une coopération plus étroite entre le secteur agricole et la communauté scientifique.

Une chaîne alimentaire plus compétitive et plus équilibrée

À la base de la chaîne alimentaire, l'agriculture est très fragmentée et peu structurée. Pour renforcer la position des agriculteurs, la Commission propose de soutenir les organisations de producteurs, les organisations interprofessionnelles et de développer les circuits courts entre producteurs et consommateurs (sans trop d'intermédiaires). Par ailleurs, les quotas de sucre, qui ont perdu de leur pertinence, ne seront pas prolongés au-delà de 2015.

Les démarches agro-environnementales encouragées

¹⁵² Il est sans doute nécessaire d'actualiser cette partie en fonction de l'état des négociations en cours.

Les spécificités de chaque territoire doivent être prises en compte et les initiatives agroenvironnementales nationales, régionales et locales encouragées. Pour cela, la Commission propose que la préservation, la restauration des écosystèmes et la lutte contre le changement climatique ainsi que l'utilisation efficace des ressources soient deux des six priorités de politique de développement rural.

Les zones fragiles mieux prises en compte

Pour éviter la désertification et préserver la richesse de nos terroirs, la Commission offre la possibilité aux États membres de soutenir davantage les agriculteurs situés dans des zones à handicaps naturels, avec une compensation additionnelle. Cette aide s'ajoutera aux autres soutiens déjà accessibles dans le cadre de la politique de développement rural.

Cependant la discussion du projet de nouvelle PAC présenté par la Commission aboutit à des sensibles reculs par rapport aux espoirs suscités. Notamment l'impulsion donnée aux mesures agro-environnementales est largement écornée ainsi que la répartition plus équitable des aides entre gros et petits bénéficiaires. C'est un recul regrettable, autant pour les agriculteurs et consommateurs européens que pour l'exemplarité dont l'Europe pouvait jusqu'ici s'enorgueillir en matière de politique environnementale.

L'agriculture : un vecteur de développement pour les pays en développement

La crise alimentaire majeure de 2007-2008 et les craintes de nouvelles crises mondialisées ont obligé les organisations internationales à reconnaître le potentiel de l'agriculture comme vecteur de développement. Plus encore, les estimations des organisations spécialisées comme la FAO et l'Institut International de Recherche sur les Politiques Alimentaires (IFPRI), montrent **qu'une augmentation sensible de la production agricole mondiale sera nécessaire d'ici à 2050 pour nourrir la population mondiale**. Or les financements ne sont pas à la hauteur des enjeux comme l'a rappelé le représentant de la Banque africaine de développement (BAD) (5 milliards par an sont investis contre les 16 milliards qui seraient nécessaire rien que pour l'Afrique) et les résultats d'étape affichés lors de la dernière évaluation des Objectifs Du Millénaire (septembre 2010) montrent un recul dramatique du combat contre la faim puisque le nombre de personnes vivant avec la faim a atteint le triste record du milliard d'individus.

Le soutien total des pays de l'OCDE à leur agriculture représente 0,84 % du PIB en 2008 contre 2,48 % en 1986-1988, période de référence. Les chiffres pour l'UE sont très proches. Le soutien à l'agriculture a donc considérablement diminué depuis le début du calcul de l'indicateur, cela est également lié à la baisse du poids de l'agriculture dans le PIB.

Le soutien total moyen dans l'OCDE s'élève en 2008 (moyenne 2006-2008) à 220€ par habitant. Certains pays sont nettement en dessous de la moyenne de l'OCDE, autour de 100€ par habitant (Australie, Nouvelle-Zélande ou pays moins développés comme le Mexique) et quelques pays riches sont nettement au-dessus, autour de 400€ (Norvège, Suisse, Corée). Mais surtout l'UE se retrouve dans la moyenne de l'OCDE, très proche des autres grands pays industrialisés (UE : 233 €, États-Unis : 241 €, Japon : 281 €, Canada : 206 €).

En Afrique et en Asie, la combinaison de mesures de politique commerciale (selon les cas, limitation quantitative, taxation ou subvention des importations ou des exportations) et de politiques internes — notamment le recours à des stocks régulateurs — peut contribuer, au niveau de pays et d'ensembles régionaux, à une relative stabilité des prix internes dans des bandes de prix acceptables à la fois pour les producteurs et pour les consommateurs. C'est le cas par exemple de la politique de stabilisation du prix du riz mise en place par l'Indonésie entre 1969 et 1996 qui a contribué au fort développement de la production.

Des résultats satisfaisants peuvent être obtenus dans les conditions suivantes :

- s'appuyer sur des connaissances solides, ce qui pose la question de la formation des équipes et des dispositifs d'information sur les marchés ;
- répondre à des règles claires et transparentes permettant une visibilité pour les opérateurs (producteurs, commerçants, transformateurs) ;
- bénéficier du financement nécessaire afin d'anticiper les coûts d'une intervention de l'État en cas de nécessité (stockage, dégagement d'excédents) ;
- intégrer d'éventuelles mesures de limitation de la production en cas d'apparition d'excédents structurels ;
- être contrôlés et évalués ;
- reposer sur une concertation avec les divers acteurs privés concernés, afin de tenir compte des caractéristiques du pays et des différents intérêts, de valoriser leur participation potentielle et de s'assurer de leur coopération effective ;
- s'inscrire dans le cadre d'une politique agricole favorable aux agriculteurs (crédit, appui technique, etc.) et, plus globalement, d'une politique économique adaptée (infrastructures, éducation et autres services publics, environnement macro-économique).
- Assurer l'accessibilité de tous à la nourriture : maîtriser les coûts et les prix, tout en rémunérant correctement les producteurs.

La multi-fonctionnalité de l'agriculture, à qui il incombe de nourrir les hommes mais aussi d'entretenir le capital naturel qu'elle exploite, la désigne comme un secteur d'activité au cœur des politiques de développement durable. La révolution verte qui a permis de répondre avec succès au premier objectif se révèle avec le recul dommageable pour le second objectif. C'est pourquoi les agronomes préconisent, en s'appuyant sur de multiples expérimentations, une révolution doublement verte pour les pratiques agricoles. Elles devront s'adapter à chaque contexte local, ce qui suppose de prendre en compte les connaissances de terrain dont sont porteurs les agriculteurs eux-mêmes. L'ensemble des institutions qui entourent de leurs conseils les agriculteurs, à commencer par les politiques publiques de soutien à l'agriculture, doivent prendre en compte cette nouvelle donne.

CONCLUSION

L'exploration des grandes controverses concernant les ressources naturelles permet de préciser les limites et de contraintes imposées par l'environnement. Les ressources fossiles (pétrole, gaz, charbon, uranium) sont limitées et disparaissent lors de leur utilisation ; une réelle contrainte physique existe donc pour ces ressources. Les autres ressources minérales non fossiles ne sont pas soumises au même problème de rareté. Constitutives de la croûte terrestre, ces ressources sont plus abondantes, même si leur disponibilité varie très fortement d'une ressource à l'autre. Face à l'augmentation de la demande en minéraux, matériaux de construction, intrants pour l'agriculture et terres rares pour les nouvelles technologies notamment, il est néanmoins fort probable que les coûts d'accès et d'extraction iront en augmentant. Contrairement aux ressources fossiles, les ressources minérales non fossiles pose une confrontation à la rareté en termes d'abord économiques. Il est donc indispensable que ces ressources soient recyclées afin d'être réutilisées.

Les limites de la capacité de la production biologique de la planète ainsi que ses limites d'absorption sont également à prendre en compte et souligne l'importance d'une gestion globale de la biodiversité et des ressources naturelles. Il est nécessaire de développer une approche patrimoniale globale pour nos espaces naturels et urbains, nos sols, nos ressources en eau, nos forêts (cf. enjeux de la protection des sols par exemple). Enfin, la question des changements climatiques est urgente et fortement limitative.

Les enjeux concernant la biodiversité

Les incertitudes, opportunités ou menaces nouvelles qui pourraient affecter la biodiversité à l'horizon 2030 sont nombreuses. Si les effets d'une érosion progressive de la biodiversité ne seront sans doute observables que dans quelques décennies, la protection des ressources naturelles et des milieux en est pas moins urgente. La **compétition accrue sur les ressources** que sont la forêt, la mer et le sol (à la fois comme espace et comme humus) a des conséquences directe sur la qualité de notre environnement.

Concrètement pour la France, la transition vers une économie écologique impliquera de :

✓ Améliorer la protection des espèces et la gestion de l'érosion de la biodiversité

Grâce à ses outre-mers et le pourtour méditerranéen, la France est un des « hotspots » de la biodiversité ; il en résulte un enjeu fort de gestion sur ces zones géographiques ciblées, où la biodiversité joue aussi un rôle dans la résilience de ces territoires au changement climatique, tout en étant l'une des rares sources de développement économique (tourisme, agriculture, pressions foncières et conflit d'usages économiques...). L'application d'une législation (art. 15 de la CDB) qui les protège du pillage est également indispensable.

De plus, une part croissante de la population métropolitaine s'installe **dans ces zones écologiquement les plus riches** (sud-est, littoral...). Cette concentration géographique engendre des pressions importantes sur des milieux fragiles qu'il conviendra de réguler.

Le degré et la vitesse d'anticipation des conséquences du réchauffement climatique sur le territoire français et la biodiversité en particulier seront enfin déterminants pour la mise en place de systèmes de protection et de gestion de la biodiversité.

✓ **Instaurer un équilibre entre espaces urbains et ruraux**

Dans un monde de plus en plus urbain, se posent les questions de **l'intégration de la nature dans la ville post-carbone de demain** ainsi que de **la protection de la nature ordinaire dans le cadre d'une patrimonialisation de la nature**, de paysage, de cadre de vie. L'espace urbain doit être pensé dans son interaction avec l'espace rural : quelle place future des espaces ruraux – et du tourisme rural ou de nature – dans la politique d'aménagement du territoire des vingt prochaines années ?

La prise en compte de la biodiversité dans la mise en œuvre du futur schéma d'infrastructures prévu dans la loi Grenelle 1 (2 500 km de voies ferroviaires d'ici à 2025) et son articulation avec la trame verte et bleue, en cours de réalisation. Plus globalement, la réalisation de la nouvelle stratégie nationale pour la biodiversité sera sans doute déterminante.

La conclusion globale concernant les ressources biologiques et la biodiversité dans son ensemble est **le constat d'une pression excessive sur la production biologique de la planète**. L'enjeu, dans le cadre d'une transition vers une économie écologique, sera donc de veiller à ces pressions « concurrentes » sur la nature et de proposer une hiérarchisation et un ordre de priorité. La question fondamentale concernant la biodiversité sera celle du **partage des ressources et de l'équité**, tant en termes d'accès que de répartition des avantages. Il faudra ainsi approfondir les possibilités de partenariats pour que possesseurs de nature et possesseurs de technique puissent travailler ensemble.

Les enjeux concernant les ressources minérales

Deux niveaux de réflexion sont nécessaires selon l'échelle à laquelle la question des ressources minérales est abordée :

✓ **Echelle internationale**

Les ressources minérales sont des ressources finies mais qui ne sont pas exposées à la rareté comme contrainte physique forte, même si les disponibilités varient fortement d'une ressource à l'autre. En effet, ce sont des ressources recyclables et réutilisables, qui ne disparaissent pas lors de leur utilisation. **L'enjeu en termes de gouvernance internationale est fondamental afin que le pillage actuel des matières premières du Sud cesse et que ces ressources puissent constituer un vrai levier de développement**. En Amérique latine, et plus récemment en Afrique, les mouvements issus de la société civile, et parfois les riverains des sites extractifs (peuples autochtones et autres habitants concernés), relayés par des ONG nationales et internationales de défense des droits de l'Homme ou de l'environnement, s'appuient sur les préceptes du développement durable pour affirmer leurs droits de regard sur les activités des grandes compagnies extractives ou sur les politiques de cession des ressources naturelles des États. Des débats s'ouvrent au lieu du fait accompli de jadis pour limiter les impacts locaux négatifs de l'extraction et améliorer la transparence dans la gestion des rentes. Les pressions conjuguées des riverains, des opinions publiques occidentales et des actionnaires, mais aussi les mauvaises expériences du passé, encouragent les grandes entreprises sur le chemin de la Responsabilité sociale et environnementale (RSE).

À l'échelle des territoires nationaux, le développement extractif dans un nouveau contexte mieux régulé permettrait sans doute d'ouvrir des espaces de bifurcation pour les systèmes sociopolitiques rentiers hors de l'ornière de la « malédiction des ressources ».

✓ *Echelle nationale*

Pour la France en particulier, il s'agit de reprendre une politique d'acquisition de connaissance moderne de son propre sous-sol, et d'encouragement aux activités extractives conçues dans un contexte technologique, environnemental et social attrayant. Une dynamique européenne est également en construction. La France a tout intérêt à y prendre part, sans hésiter à transférer au niveau de l'UE les compétences et les moyens d'action nécessaires (vision stratégique, géopolitique, diplomatie des matières premières...).

Par exemple pour la mise en œuvre des politiques d'efficacité énergétique dans l'habitat et le tertiaire, les filières de construction, qu'il s'agisse de constructions neuves ou de rénovation de l'ancien, nécessiteront le recours accru à des matériaux de construction qui ne seront pas tous issus de la biomasse. De même, les politiques de transports nécessiteront des travaux de génie civil. Toutes ces activités sont extrêmement consommatrices de matériaux de construction. Certes une partie des besoins pourra être couverte par un recours accru aux **filières de recyclage**, mais il faudra aussi disposer de sites d'extraction à proximité des zones de consommation pour éviter les coûts de transports excessifs de pondéreux. Les controverses concernant **l'ouverture de sites d'extraction de matériaux de construction**, particulièrement vives du fait de la réduction du nombre des sites et de la croissance de production des sites en activité, devront en conséquence être affrontées dans un cadre négocié à l'image des agendas 21 locaux.

Une voie pour un développement durable urbain est de favoriser conjointement l'extraction de ces matériaux du sous-sol urbain en même temps qu'une politique de développement de l'usage de l'espace souterrain ainsi libéré (galeries de métro, lignes de transport de marchandises, sites de stockage, galeries marchandes...).

Les enjeux concernant les ressources énergétiques

Plusieurs constats doivent être dressés pour la France. **La France est tout d'abord aussi dépourvue en hydrocarbures et gaz que l'Europe.** Si des gisements de gaz de schistes ont pu être repérés, leur exploitation présente de nombreuses limites. Cette dépendance énergétique de la France à l'égard des pays pétroliers doit être minimisée en développant des énergies non délocalisables et génératrices d'emploi. **Le nucléaire doit être progressivement abandonné** : les ressources en uranium sont limitées, la technologie présente des risques majeurs, avec une dimensionnelle temporelle sans équivalent, la fin de cycle n'est pas maîtrisée et enfin, le coût du KWh est encore très incertain. De plus, **l'électricité va subir la même trajectoire de prix** avec l'arrivée en fin de vie de nombreuses infrastructures, la nécessité d'investir dans le renforcement de la sécurité des réacteurs et l'intégration des coûts en fin de vie.

Face à ce diagnostic, les orientations qui devront être prises dans nos scénarios de transition vers une économie écologique sont les priorités suivantes :

- **Les potentiels d'économie d'énergie doivent être une priorité**, en déployant des programmes éducatifs et campagnes d'informations. Les potentiels de réduction de

consommation à confort inchangés sont estimés à environ 10%, du côté de la sobriété ; un tiers de l'énergie pourrait être économisée par la diffusion des meilleures techniques existantes, du côté de l'efficacité énergétique.

- Du fait des incertitudes sur l'approvisionnement en hydrocarbures, de la hausse des prix des énergies et de la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre, **le développement des énergies renouvelables constitue également une priorité.**
- La trajectoire du prix de l'énergie évolue de façon erratique (rente spéculative parallèle aux mécanismes physiques de fixation des prix) ; seule une fiscalité contracyclique par rapport aux prix des combustibles fossiles pourrait permettre une appropriation collective de la rente, de favoriser les anticipations d'investissements et de réguler les prix afin de contrebalancer les effets sociaux négatifs. Seul ce système peut générer l'indispensable **acceptation sociale.**

Pour la France, en suivant les éléments ci-dessus, il est donc essentiel de développer les politiques publiques et les comportements d'anticipation des acteurs économiques et des ménages afin de réduire la vulnérabilité du territoire, d'en augmenter sa résilience et son indépendance énergétique.

Les enjeux concernant les milieux et ressources naturelles

✓ *Les sols*

Ecosystèmes clés pour l'équilibre écologique, menacés par les choix des acteurs socio-économiques, les sols sont un bien commun insuffisamment pris en charge et protégé par les pouvoirs publics. La persistance observée dans l'artificialisation des sols depuis 1990 témoigne du manque de prise en charge politique de la question. La question du foncier doit redevenir une **question sociétale et politique.** Le **renforcement des compétences des collectivités** territoriales en matière d'urbanisme et d'aménagement paraît également inéluctable afin de limiter l'étalement urbain et de renouveler plus globalement les modes de gouvernance du sol.

La gestion de la concurrence de l'usage des sols doit passer par une évolution de l'approche du territoire : d'une séparation des espaces, dédiés à une fonction (urbain, rural, espaces naturels), à la prise en compte de l'interdépendance entre ces fonctions dans une perspective d'écologie territoriale. La question de l'échelle pertinente d'analyse pour assurer l'équilibre et les continuités entre les différentes fonctions est fondamentale, tout comme celle de la part de contraintes règlementaires et/ou de mécanismes de marchés dans la régulation de l'occupation des sols.

✓ *L'eau*

Les ressources en eau sont très inégales selon les régions du monde, les questions de durabilité liées à la ressource en eau au plan quantitatif des approvisionnements ne se pose donc pas de la même manière pour les différentes parties du globe. La question de l'eau est extrêmement préoccupante en tant que ressource indispensable à l'humanité et que milieu de vie pour des millions d'espèces. L'inquiétude des scientifiques sur l'érosion des ressources halieutiques et la qualité des milieux aquatiques est grandissante.

Sous le climat tempéré de l'hexagone, deux objets de controverses concernant la ressource en eau émergeront inmanquablement :

- Au plan qualitatif, la possibilité de retrouver – à l'échéance de 2015 comme le propose la directive cadre sur l'eau, ou même à une échéance plus tardive – la qualité originelle des milieux, notamment concernant les nappes phréatiques. Il ne fait pas de doute que, compte tenu de la persistance de pratiques agricoles intensives – qu'il s'agisse de l'agriculture céréalière ou l'élevage hors sol – la qualité des eaux souterraines n'ira pas dans le sens d'une amélioration permettant le retour à la potabilité de l'eau brute.
- Au plan quantitatif, l'impact du changement climatique aura pour effet le développement des phénomènes extrêmes, et plus précisément des saisons sèches plus sèches et des saisons humides plus humides, entraînant la nécessité de développer des politiques de stockages inter-saisonniers, impliquant notamment une gestion active des nappes phréatiques.

Pour la France, trois moyens semblent indispensables pour faire face aux limitations de la ressource en eau : l'organisation d'une gestion intégrée des usages et des milieux ; l'optimisation des volumes et les économies d'eau et enfin l'amélioration de nos modes de productions et la lutte contre le gaspillage.

✓ *L'air et l'atmosphère*

La question du changement climatique – objet de polémique actuel entre ceux qui reconnaissent le sérieux des travaux du GIEC et les « climato-sceptiques » - doit être considérée comme réglée dans le cas de cette étude. En effet, le fondement même d'une transition vers une économie écologique repose sur la nécessité de changer de modèle, pour **appliquer le « facteur 4 » et réduire les émissions de GES découlant de l'usage des combustibles fossiles.**

La qualité de l'air urbain, et la nocivité des particules fines émises par les moteurs diesels, devraient disparaître avec la mise en œuvre de technologies basées sur l'usage des énergies renouvelables. Si ce n'est la question de la surveillance de l'usage des HFC dans les pompes à chaleur, notamment leur recyclage en fin de vie des équipements, **les énergies renouvelables et la maîtrise de l'énergie ne posent pas de problème de controverses concernant leur impact sur la qualité de l'air.** Certaines installations de géothermie de haute température, lorsque la qualité des fluides le nécessite, doivent mettre en œuvre des techniques de traitement des émissions de SO₂ ou de radon.

✓ *Les forêts*

Les forêts dans le monde sont aujourd'hui menacées par le besoin croissant en terres agricoles, l'urbanisation et l'exploitation des ressources qu'elle contient. A l'échelle internationale, **la principale cause de déforestation reste l'agriculture.** Or les forêts jouent un rôle fondamental dans la régulation du climat, constituant de véritables **puits de carbone limitant le phénomène de réchauffement climatique.** La déforestation détruit non seulement ces puits de carbone, mais **provoquent également des émissions de GES,** en particulier de CO₂, via la pratique du brûlis.

En France, **l'enjeu d'une gestion durable et intégrée des forêts consistera à développer la production du bois pour la construction et la production d'énergie,** tout en préservant l'environnement et la biodiversité et en soutenant la lutte contre le changement climatique.

Vers une agriculture durable

Pour nourrir convenablement bientôt 9 milliards d'habitants sur la planète à l'horizon 2050, le modèle agricole devra évoluer, de façon à concilier productivité, préservation des ressources, et

l'avenir de paysanneries de plus en plus fragilisées, dans un contexte économique très inégalitaire. Dans ce domaine peut-être plus qu'ailleurs, **le lien entre gestion des ressources naturelles et enjeux sociaux est particulièrement fort**. La prospective INRA-CIRAD « Agrimonde » montre qu'il est possible de répondre convenablement aux besoins alimentaires de tous, en faisant évoluer les régimes alimentaires vers des modèles moins carnés, en réorganisant et régulant les échanges économiques au niveau international et en soutenant le développement agricole et rural, l'innovation et sa diffusion, la gestion des ressources naturelles.

L'évolution des pratiques agricoles soulève un **enjeu de connaissance et de diffusion des pratiques** afin de forger de nouveaux partenariats entre agriculteurs, chercheurs et d'autres acteurs et d'aller vers une réorientation substantielle des connaissances, sciences et technologies agricoles (AKST). Au niveau international, il s'agira notamment d'augmenter l'investissement public et privé dans les AKST, d'adopter des politiques et de créer des institutions d'appui, de revaloriser les savoirs traditionnels et locaux, et de créer des connaissances et les partager suivant une approche interdisciplinaire, globale et systémique. En Europe et en France, les modalités de la PAC post-2013 seront déterminantes afin de poursuivre son objectif de **renforcer la compétitivité, la durabilité et l'ancrage de l'agriculture sur l'ensemble des territoires** pour garantir aux citoyens européens une alimentation saine et de qualité, préserver l'environnement et développer les zones rurales.

Ainsi les ressources alimentaires de l'avenir, étroitement dépendantes des ressources biologiques, sont liées à la capacité de l'agriculture à améliorer sa productivité dans les pays déficitaires, à l'aide de politiques publiques pertinentes, et de modèles plus adaptés au contexte et aux spécificités de leurs écosystèmes. Il s'agira ensuite de mener une révolution « doublement verte », qui permette de sortir des impasses du modèle agroindustriel, dont l'impact est trop lourd aussi bien sur les écosystèmes que sur les équilibres sociaux, et qui n'est pas accessible par ailleurs aux pays en développement.

Conclusion globale

La pression accrue exercée sur la nature, la concurrence des usages face à une demande grandissante, et le partage nécessaire des ressources qui en découle, sont au cœur des problématiques concernant les ressources naturelles et la biodiversité dans son ensemble. En effet, une compétition de fait existe entre l'approvisionnement alimentaire, l'utilisation de matériaux de construction, les usages textiles, la production d'énergie, de papier, de médicaments, des usages comme matière première de la chimie. Dans ces conditions, les variables d'ajustement sont trop souvent la colonisation de la nature sauvage et le développement des inégalités. Ces aspects sont essentiels dans notre étude pour appréhender la confrontation aux limites.

L'enjeu dans le cadre d'une transition vers une économie écologique sera de passer d'une économie de stock à une économie de flux, d'une économie qui ponctionne la nature et génère des déchets à une économie intégrée au fonctionnement dynamique de la nature, basée sur l'efficacité, le recyclage et la frugalité.

ANNEXES

Annexe 1 : Les trois conceptions de la nature selon Jacques Theys, juin 1993

Annexe 2 : Définition du concept de biodiversité

Annexe 3 : Description des services écosystémiques rendus par la nature

Annexe 4 : Quelques exemples chiffrés des services écosystémiques rendus par la nature

Annexe 5 : Projet de caractérisation des fonctions écologiques des milieux en France

Annexe 6 : Les messages essentiels du MEA

Glossaire

Liste des acronymes

Bibliographie

Annexe 1: Les trois conceptions de la nature selon Jacques Theys, juin 1993

Dans une note de méthode de l'IFEN, Jacques Theys¹⁵³ distingue trois grandes conceptions du terme « environnement », irréductibles les unes aux autres :

✓ *La première de ces conceptions est objective et biocentrique*

L'environnement peut se définir par une liste d'"objets" naturels (organismes vivants, ressources minérales, milieux de vie écosystèmes, voire biosphère...) en interaction. La société, composée de sujets, n'est alors elle-même qu'un objet particulier de cette liste, fortement dépendant du fonctionnement de la nature. Dans cette optique, l'environnement est considéré comme **une contrainte à laquelle la société doit s'adapter**. L'environnement est assimilé à la « nature » dont il convient d'assurer la protection et la reproduction.

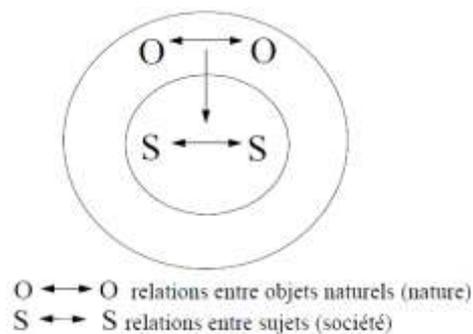


figure 1. Conception objective et biocentrique de l'environnement [THEYS 93]

✓ *Une conception diamétralement opposée : subjective et anthropocentrique*

L'environnement est considéré comme un **système de relations sujet/objet entre l'homme et son milieu** et n'est donc défini que relativement à la perception de l'homme. Elle est caractéristique de la société industrielle.

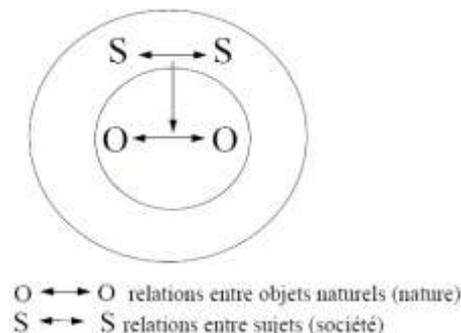


figure 2. Conception subjective et anthropocentrique de l'environnement [THEYS 93]

¹⁵³ Theys J., « L'environnement à la recherche d'une définition », Notes de méthode de l'IFEN, n° 1, juin, 1993.

L'environnement n'est plus défini comme une contrainte mais comme une ressource que la société a la possibilité de gérer. On ne prend en considération l'environnement que dans la mesure où il est en relation avec la société. Une conception « subjective » et « anthropocentrique » qui fait de l'environnement un ensemble de relations entre les hommes et les milieux où ils vivent (usages, prélèvements, aménagement, accès, rejets...). L'environnement ne se conçoit ici que relativement à des sujets (individus, groupements humains, institutions...) et ne se définit que dans un système de sens, un système social, une culture qui le symbolisent différemment et permettent, par exemple, de définir ce qu'est la « qualité de la vie ». Selon les systèmes et groupes sociaux considérés, l'environnement n'aura pas le même contour, la même signification, il n'englobera pas les mêmes relations ou ne les hiérarchisera pas de la même façon.

Les deux conceptions, - objective et biocentrique ou subjective et anthropocentrique -, bien qu'adoptant des approches opposées, **ont en commun une distinction nette entre société et environnement** : la société considère l'environnement comme un élément externe, qu'il soit perçu comme une contrainte ou comme une ressource.

Or, on se rend compte aujourd'hui que la limitation des ressources de l'environnement, tant en ce qui concerne la fourniture de matières premières que les capacités d'auto-épuration, devient une contrainte interne de la société. Ce phénomène se traduit par l'apparition du concept de développement durable, lui-même lié à l'idée que la pérennité de notre société est menacée par l'épuisement des ressources de l'environnement.

Notons que la conception biocentrique fut longtemps celle de l'humanité et reste encore celle de populations « autochtones ». Dans la période récente, les tenants d'une écologie radicale se sont également opposés à la seconde conception, qui s'est traduite depuis le 19^{ème} siècle par l'exploitation de la nature par la société industrielle.

✓ **Une alternative "technocentrique"**

Elle prend en considération le fait qu'une distinction nette entre société et environnement n'est pas adaptée à la complexité de la réalité. Cette dernière conception, à la fois objective et subjective, se base sur la notion de **dépendance réciproque de la société et de l'environnement** (figure 3).

L'environnement est alors à la fois dans et autour de la société. Dans cette optique, la société et l'environnement sont des coproductions et s'imposent des **contraintes mutuelles**. La conception technocentrique prend en compte l'existence d'un domaine où il est difficile de distinguer l'environnement de la société. On trouve dans ce domaine des objets à la fois naturels et artificiels, comme les espaces verts urbains ou les espaces agricoles cultivés.

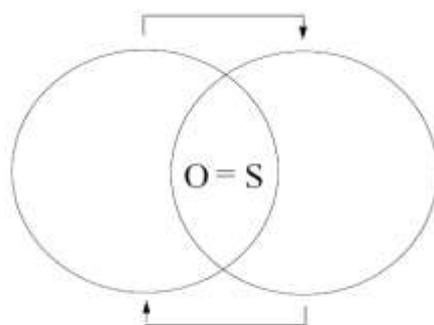


figure 3. Conception "technocentrique" de l'environnement [THEYS 93]

Cette dernière conception, en introduisant **la notion de bouclage entre société et environnement**, est celle qui paraît la plus juste pour rendre compte des problèmes environnementaux aujourd'hui rencontrés : l'activité humaine est à l'origine de problèmes et de risques environnementaux, qui doivent être gérés par une adaptation de l'activité. Une conception « technocentrique » qui fait de l'environnement le produit d'une relation entre systèmes social et naturel, un ensemble d'objets « hybrides »¹⁵⁴, qui prolifèrent et posent des

¹⁵⁴ Bruno Latour (1991), *Nous n'avons jamais été modernes. Essai d'anthropologie symétrique*, Paris, La Découverte, « L'armillaire »

questions de limites, des risques à gérer, des problèmes à résoudre. Cette conception remet en cause les distinctions existant entre les notions d'objet et de sujet, de nature et d'artifice, et insiste sur un double mouvement de « naturalisation de la nature » et de « socialisation de la nature ».

Annexe 2 : Définition du concept de biodiversité

Le terme de biodiversité a été créé au milieu des années 80 (W.G. Rosen, 1985), résultat de la contraction de « diversité biologique », et utilisé à partir de 1986 par l'endémologiste américain E.O. Wilson.

Le concept de biodiversité recouvre trois sous-ensembles :

1. La **diversité génétique** = la variabilité génétique entre espèces et entre individus au sein d'une même espèce. Il faut ici bien distinguer la biodiversité naturelle de l'ingénierie biotechnologique (qui a donné naissance aux organismes génétiquement modifiés). Elle concerne des populations distinctes de la même espèce. Elle distingue les variétés végétales, les races animales. Elle a longtemps concerné les espèces cultivées. Elle décrit le polymorphisme humain.
2. La **diversité spécifique** (ou organismique) = la variabilité des espèces. Elle se rapporte à la fois au nombre d'espèces dans une région : la " richesse " spécifique et aux relations mutuelles entre espèces : la diversité " taxinomique ".
3. La **diversité fonctionnelle / écologique / écosystémique** : Elle met en relation les diversités constitutives -génétique et spécifique - et la diversité structurelle et fonctionnelle des écosystèmes (abondance relative des espèces, structure des populations en classes d'âges, processus biologiques comme la prédation, le parasitisme, le mutualisme...).

Tous les acteurs de la société sont concernés par l'exploitation des ressources naturelles. Des actes de gestion et de protection existent au niveau local, au niveau international.

- Les **Etats et Gouvernements** responsables de leurs pays développent des réglementations nationales et internationales. Nationalement ce sont tous des lois et règlements édités pour la gestion durable et la protection de la nature (ex : les Parcs nationaux...). Au niveau international, des Conventions sont installées (ex : la Convention Internationale pour la Conservation des Espèces CITES qui s'occupe de réglementer le commerce international des espèces en danger ; elle ne se préoccupe pas du commerce intérieur du pays).
- Les **parlementaires nationaux et européens** qui proposent et votent les lois et notamment les directives européennes (Natura 2000, REACH, DCE, Habitats...).
- Les **ONG internationales**, en partenariat avec les ONG nationales, comme l'UICN, le WWF... qui, organisées dans de nombreux pays, œuvrent au niveau international.
- Les **communautés scientifiques** indispensables à la connaissance.
- Les **organisations socioprofessionnelles** dont l'objectif premier reste le développement économique de leur secteur.
- Les **organisations syndicales** dont l'objet premier est le volet social.
- Les **acteurs locaux**, qu'ils soient élus, associatifs, socio-professionnels qui ont, au niveau local, une grande importance pour la réussite des mesures.
- Les **acteurs culturels**, des églises aux médias, qui façonnent le comportement des citoyens et modifient leurs modes de consommation.
- Les **consommateurs/citoyens**, plus ou moins bien organisés, qui peuvent permettre ou empêcher des mesures ou des productions plus ou moins néfastes pour la biodiversité.

- La pluralité et diversité des acteurs ainsi que les niveaux de décision des cultures façonnent tous les débats au sein de la Convention sur la Diversité Biologique (CDB).

Annexe 3 : description des services écosystémiques rendus par la nature

Source: Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystem and Human Well Being : Synthesis, island press, 2005.

Les services d'approvisionnement sont des services écosystémiques qui décrivent la production matérielle ou énergétique des écosystèmes. Cela inclut les aliments, l'eau et d'autres ressources.



Aliments : les écosystèmes fournissent les conditions nécessaires à la production d'aliments dans des habitats sauvages ou dans des agro-écosystèmes administrés.



Matières premières : les écosystèmes fournissent une grande diversité de matériaux pour la construction ainsi que le carburant.



Eau douce : les écosystèmes fournissent les eaux de surface ainsi que la nappe phréatique.



Ressources médicales : de nombreuses plantes sont utilisées comme médicaments traditionnels et comme ingrédients pour l'industrie pharmaceutique.

Les services de régulation sont les services fournis par les écosystèmes par l'intermédiaire de leur action régulatrice, par exemple, la régulation de la qualité de l'air et du sol ou le contrôle des inondations et des maladies.



Régulation du climat locale et de la qualité de l'air : les arbres fournissent de l'ombre et enlèvent les polluants de l'atmosphère. Les forêts influencent les précipitations.



Capture et stockage du carbone : en poussant, les arbres et les plantes éliminent le dioxyde de carbone de l'atmosphère et l'emprisonne effectivement dans leurs tissus.



Modération des phénomènes extrêmes : les écosystèmes et les organismes vivants créent des tampons contre les catastrophes naturelles telles que les inondations, tempêtes et glissements de terrain.



Traitement des eaux usées : les micro-organismes présents dans le sol et les zones humides décomposent les déchets humains et animaux.



Prévention contre l'érosion et maintien de la fertilité du sol : l'érosion du sol est un facteur clé dans le processus de dégradation des terres et la désertification.



Pollinisation : sur 115 cultures vivrières importantes dans le monde, 87 dépendent de la pollinisation animale, y compris les cultures de rapport importantes comme le cacao et le café (Klein et al. 2007).



Contrôle biologique : les écosystèmes sont importants pour la régulation des parasites et des maladies vectorielles.

L'habitat ou les services de soutien sous-tendent la quasi-totalité des autres services. Les écosystèmes fournissent un espace de vie aux plantes et aux animaux et maintiennent une diversité d'espèces différentes de plantes et animaux.



Habitats des espèces : les habitats procurent tout ce qui est nécessaire à une plante ou un animal particulier pour survivre. Les espèces migratrices ont besoin d'habitats le long de leur itinéraire de migration.



Maintien de la diversité génétique : la diversité génétique distingue entre différentes espèces ou races et constitue une base pour les variétés cultivées bien adaptées localement, ainsi qu'un patrimoine génétique en vue du futur développement de cultures commerciales et d'animaux d'élevage.

Les services culturels incluent les avantages non matériels que retirent les personnes du contact avec les écosystèmes, et comprennent les avantages esthétiques, spirituels et psychologiques.



Divertissement et santé mentale et physique : le rôle des paysages naturels et des espaces verts urbains pour le maintien de la santé mentale et physique est de plus en plus reconnu.



Tourisme : le tourisme vert engendre des bénéfices économiques considérables et représente une source de revenus vitale pour de nombreux pays.



Appréciation esthétique et inspiration pour la culture, l'art et le design : langue, savoir et appréciation de l'environnement naturel sont intimement liés depuis les débuts de l'histoire de l'humanité.



Expérience spirituelle et relation aux paysages : la nature est un élément commun à la plupart des grandes religions. Les paysages naturels représentent également une identité locale et un sentiment d'appartenance.

Annexe 4 : quelques exemples chiffrés des services écosystémiques rendus par la nature

Source : TEEB (2010) *L'Économie des écosystèmes et de la biodiversité : Intégration de l'Économie de la nature. Une synthèse de l'approche, des conclusions et des recommandations de la TEEB.*

Encadré 1 : L'Économie des services écosystémiques en chiffres

La protection des forêts évite les émissions de gaz à effet de serre qui coûtent 3,7 trillions USD 

La réduction de moitié du taux de déforestation d'ici 2030 réduirait le total des émissions de gaz à effet de serre de 1,5 à 2,7 GT CO₂ par an, évitant ainsi d'entraîner les dommages dus au changement climatique estimés à plus de 3,7 trillions USD en termes de VAN. Ce chiffre ne comprend pas les nombreux bénéfices connexes des écosystèmes des forêts (Eliasch 2006).

La sous-performance annuelle des pêcheries mondiales représente 50 milliards USD 

La concurrence entre les flottes de pêche industrielle fortement subventionnées, associée à une mauvaise réglementation et une application faible des règles en vigueur, a mené à la surexploitation de presque tous les stocks de poissons à forte valeur commerciale, réduisant ainsi le revenu issu des pêcheries marines mondiales de 50 milliards USD par an par comparaison à un scénario de pêche plus durable (Banque mondiale et FAO 2009).

L'importance des services écosystémiques des récifs coralliens 

Bien que couvrant seulement 1,2 % des plaques continentales du monde, les récifs coralliens abriteraient entre 1 et 3 millions d'espèces, et notamment un quart de la totalité des espèces de poissons marins (Allsopp et al. 2009). Quelques 30 millions de personnes vivant en zones côtières et au sein de communautés insulaires sont entièrement dépendants des ressources fondées sur les récifs coralliens comme principal moyen de production alimentaire, de revenu et de moyen de subsistance. (Gomez et al. 1994, Wilkinson 2004).

Les produits et services écologiques représentent une nouvelle opportunité de marché 

Les ventes mondiales d'aliments et de boissons issus de l'agriculture biologique ont récemment augmenté de plus de 5 milliards USD par an pour atteindre les 46 milliards USD en 2007 (Organic Monitor 2009) ; le marché mondial des produits du poisson portant un label écologique a augmenté de plus de 50 % entre 2008 et 2009 (MSC 2009) ; et l'écotourisme est le domaine de l'industrie du tourisme qui connaît la plus forte croissance, la hausse estimée des dépenses mondiales le concernant atteignant 20 % par an (TIES 2006).

En Suisse, l'apiculture pèse 213 millions USD par an 

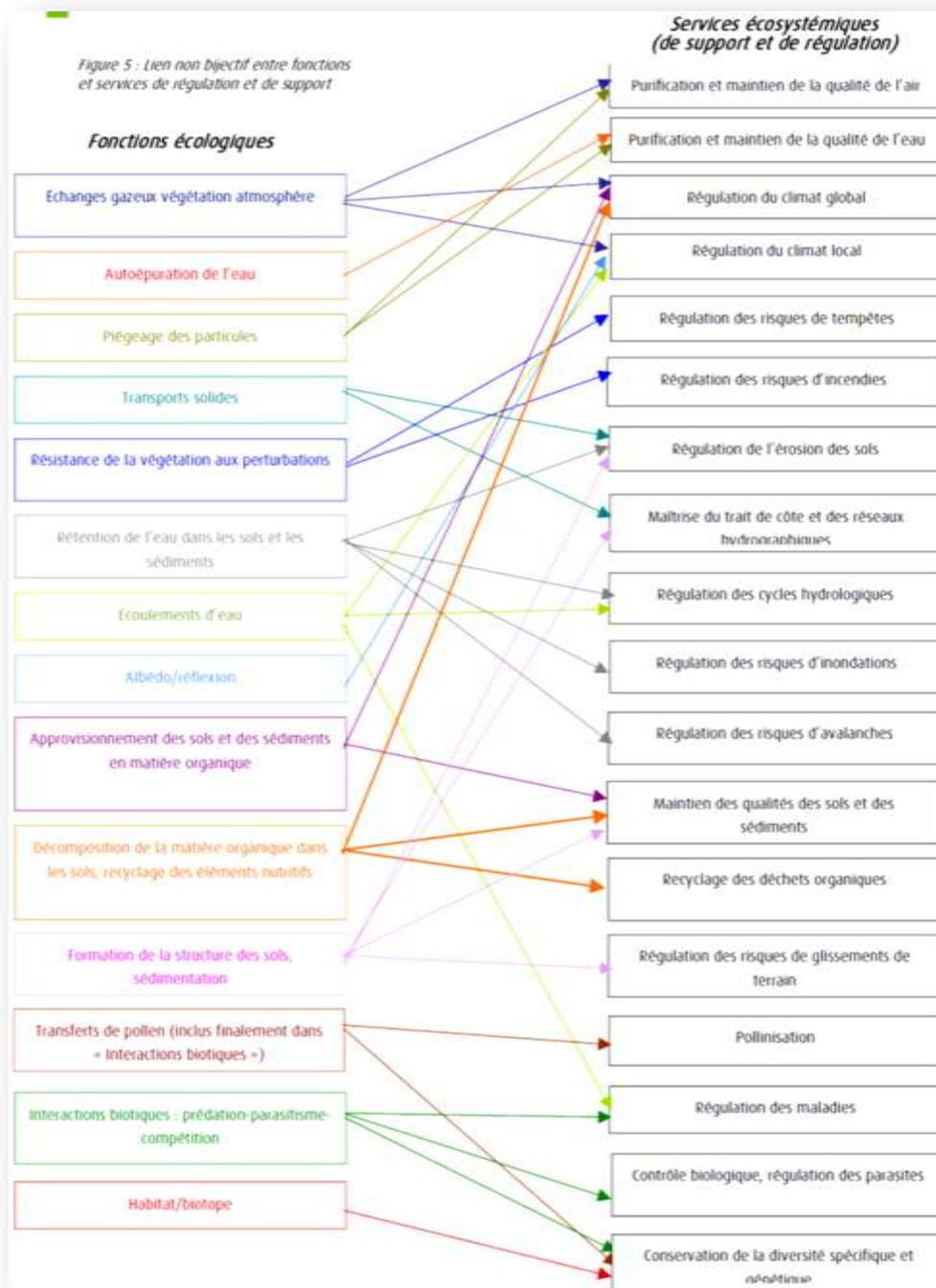
En 2002, une seule colonie d'abeilles assurait une production agricole annuelle d'une valeur de 1 050 USD en fruits et mûres fécondés, par comparaison à tout juste 215 USD issus des produits directs de l'apiculture (par ex. le miel, la cire d'abeille, le pollen) (Fluri et Fricke 2005). En moyenne, les colonies d'abeilles suisses assuraient une production agricole annuelle d'une valeur avoisinant les 213 millions USD par le biais de la pollinisation qu'elles offrent, soit environ cinq fois la valeur de la production de miel (TEEBcase : l'évaluation de la pollinisation donne naissance à un mouvement de soutien en faveur des apiculteurs en Suisse). À l'échelle mondiale, la *→valeur économique totale* de la pollinisation par les insectes est estimée à 153 milliards €, soit 9,5 % du rendement agricole mondial en 2005 (Galai et al. 2009).

La plantation d'arbres améliore la qualité de vie urbaine à Canberra, en Australie 

Les pouvoirs locaux de Canberra ont planté 400 000 arbres afin de réguler le microclimat, réduire la pollution et améliorer par là même la qualité de l'air urbain, réduire les coûts d'énergie de la climatisation ainsi que stocker et séquestrer le carbone. Au cours de la période 2008-2012, la valeur de ces avantages devrait atteindre quelques 20 à 67 millions USD en termes de valeur générée ou d'économies réalisées pour la ville (Brack 2002).

Annexe 5 : projet de caractérisation des fonctions écologiques des milieux en France

Source : Commissariat général au développement durable, Études et documents - Numéro 20 - Mai 2010 - 74 pages



Annexe 6 : les messages essentiels du MEA

- La diversité biologique ne contribue pas uniquement au bien-être matériel et à la subsistance des êtres humains. Elle contribue également à la sécurité, à la résilience, aux relations sociales, à la santé et à la liberté de choix et d'action.
- Les changements au niveau de la diversité biologique en conséquence des activités anthropiques a été plus rapide au cours des cinquante dernières années qu'à toute autre période de l'histoire humaine et les facteurs de changement qui sont responsables de l'appauvrissement de la biodiversité et conduisent à la transformation des services procurés par les écosystèmes sont ou bien constants, ou ne montrent aucun signe de diminution avec le temps, ou encore s'intensifient.
- De nombreux groupes sociaux ont bénéficié de la conversion des écosystèmes naturels en écosystèmes dominés par l'être humain et de l'exploitation de la diversité biologique. Toutefois, ces bénéfices ont été réalisés à des coûts de plus en plus élevés, sous forme d'appauvrissement de la diversité biologique, de dégradation de nombreux services dispensés par les écosystèmes et d'aggravement de la pauvreté d'autres groupes sociaux.
- La transformation des habitats (occupation des sols, modification physique des rivières ou prélèvement de leurs eaux, appauvrissement des récifs coralliens, et dégradation des fonds marins par la pêche au chalut de fond), les changements climatiques, les espèces exotiques envahissantes, la surexploitation des espèces et la pollution sont les facteurs directs les plus importants de l'appauvrissement de la diversité biologique et des changements au niveau des services dispensés par les écosystèmes.
- De meilleures techniques d'évaluation et informations sur les services dispensés par les écosystèmes indiquent que, bien que de nombreux individus bénéficient des actions et activités conduisant à une perte de la diversité biologique et à des changements au niveau des écosystèmes, les coûts de ces changements supportés par la société sont souvent plus élevés. Même dans les cas où notre connaissance des coûts et des bénéfices est incomplète, il importe d'adopter une approche de précaution au cas où les coûts associés aux changements subis par les écosystèmes seraient élevés ou les changements irréversibles.
- Afin d'accomplir plus de progrès vers la conservation de la diversité biologique, il sera nécessaire, entre autres mesures, de renforcer les options d'intervention qui ont pour objectif primordial la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique et des services dispensés par les écosystèmes. En tout état de cause, ces interventions ne seront pas viables, à moins que les facteurs directs et indirects de changement ne soient abordés et que des conditions favorables à la mise en œuvre de toute la gamme d'interventions ne soient établies.
- Il est probable que des compensations réciproques entre la réalisation des Objectifs du millénaire pour le développement fixés à 2015 et l'objectif de 2010 qui consiste à réduire la perte de diversité biologique interviendront, même s'il existe de nombreuses possibilités de synergie entre les divers objectifs convenus au niveau international liés à la diversité biologique, à la viabilité de l'environnement et au développement.
- Des efforts sans précédent seraient nécessaires pour réaliser, d'ici 2010, une réduction appréciable du rythme de perte de la diversité biologique à tous les niveaux.
- Les buts et objectifs à court terme ne suffisent pas. Etant donné les délais de réaction des systèmes politiques et socioéconomiques humains et des systèmes écologiques, il importe de fixer des buts et des objectifs à long terme (par exemple 2050) pour orienter les politiques et les actions.

- De meilleures prévisions des impacts des facteurs de changement sur la diversité biologique, le fonctionnement des écosystèmes et les services qu'ils dispensent, ainsi que des meilleures mesures de la diversité biologique, faciliteraient la prise de décision à tous les niveaux.
- La science peut contribuer à veiller à ce que les décisions sociales soient prises sur la base des meilleures informations disponibles, mais, au bout du compte, le choix et les décisions concernant les niveaux de diversité biologique appartiennent à la société.

GLOSSAIRE

Adaptabilité / adaptation : L'adaptabilité est la capacité d'un système à ajuster ses mécanismes, ses processus et sa structure à des changements climatiques hypothétiques ou réels. L'adaptation peut être spontanée ou planifiée ; elle peut se produire en réponse à ou en prévision d'une évolution des conditions¹⁵⁵.

Les mesures d'anticipation de l'adaptation aux futurs changements climatiques recouvrent quatre catégories de problèmes : augmentation de la robustesse de la conception des infrastructures et des investissements de long terme, augmentation de la flexibilité des systèmes vulnérables de management, augmentation de l'adaptabilité des systèmes vulnérables, et inversion des tendances qui augmentent la vulnérabilité.

Bien commun : la notion bien commun fait référence aux biens qui sont considérés comme étant essentiels à la vie humaine. En ce sens, on parlera, par exemple, de la terre, de l'air, de l'eau, etc., comme de « biens communs ». Mais cette notion renvoie plus largement à une réflexion sur ce qu'il est souhaitable de protéger du point de vue de l'intérêt de la collectivité, sur les manières d'organiser le « vivre ensemble » et de gérer collectivement des ressources limitées.

Monétarisation : appliquée aux ressources environnementales, la monétarisation part du principe que nombre de biens et services environnementaux ne font pas l'objet d'échanges et n'ont donc pas de prix. L'environnement a pourtant une valeur : sa qualité est en effet une composante essentielle du bien-être des générations présentes et futures. La monétarisation est une technique d'analyse qui vise à révéler cette valeur, pour mieux prendre en compte les enjeux environnementaux dans les décisions publiques et les choix privés. L'étude internationale des écosystèmes et de la biodiversité (TEEB) menée par Pavan Sukhdev chiffre ainsi les coûts pour la société de la perte cumulée de bien-être liée à la dégradation des écosystèmes et de la biodiversité.

La monétarisation du vivant pose de nombreuses controverses. Certains craignent que la monétarisation ne soit qu'un préalable au développement de marchés sur des biens inestimables, démarche qui pourrait mettre en péril les principes de préservation de notre patrimoine commun. D'autres expriment des critiques, non pas sur le principe de la monétarisation lui-même, mais sur les limites qu'il rencontre dans la pratique.

Marchandisation : le terme évoque l'extension des domaines économiques librement accessibles aux marchés. La marchandisation des ressources naturelles n'est pas nouvelle : depuis près de deux siècles maintenant, forêts, mines, hydrocarbures, eau, vent, soleil, sont entrés dans l'ensemble des « biens » qu'on peut s'approprier et vendre. De nombreuses associations s'insurgent face aux dérives d'une appropriation privée tous azimuts des ressources et milite pour une gestion en termes de biens communs sur les territoires.

Marchés spot : La définition classique du marché spot donne qu'il s'agit d'un marché au comptant portant sur les devises, les taux ou les matières premières. C'est donc un marché de livraison spécialisé : par opposition à un marché à terme, les opérateurs qui traitent sur un marché spot, ou un marché au comptant, le font pour recevoir ou livrer les valeurs, marchandises ou taux négociés. Dans le domaine des transports, maritimes essentiellement et des matières premières, et parmi elles, celles qui est la plus « tradée » le pétrole, les marchés spot recouvrent des transactions au jour le jour et dont le prix est fixé dans l'instant (on the spot). Les principaux marchés du spot « pétrole brut

¹⁵⁵ D'après *Le Changement climatique : dimensions économiques et sociales*, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), édition : Paris, Association 4D, 1997, Version française sous la responsabilité scientifique du Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement (CIRED) p.VIII

ou raffiné sont Londres, New York, Singapour et Rotterdam. Les prix ne sont pas le résultat de cotations bien que, dans le domaine du pétrole, ceux qui ont été pratiqués sur le marché fassent l'objet d'estimation sur la base des échanges effectués. Les références de prix spot sont réalisées sur les principaux pétroles bruts (Brent, WTI, Dubaï) et sont utilisées comme indicateurs quant à l'évolution du prix du brut et pour certaines clauses d'indexation.

Résilience : la résilience est un terme de physique qui définit, en mécanique, le degré de résistance d'un matériau soumis à un impact. Par extension, la résilience caractérise la capacité d'un écosystème à s'adapter à des événements (chocs) extérieurs et des changements imposés.

En sciences naturelles, le terme est employé pour évoquer un organisme, une espèce ou un écosystème capable de résister et de surmonter des perturbations importantes (catastrophe naturelle, marée noire, etc.) pour retrouver un fonctionnement normal. La résilience est en général fonction de la diversité et de la complexité des écosystèmes et du patrimoine génétique des individus.

Lorsque ce concept est utilisé pour un pays ou un territoire, il vise à évaluer la vulnérabilité sociale aux risques environnementaux et économique afin de renforcer sa robustesse face à des aléas extérieurs.

Pour de plus amples informations, une bibliographie a été réalisée par le CGDD :

http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/DossierCRDD_Resilience.pdf

Liste des acronymes

4D : Dossiers et Débats sur le Développement Durable
ACV : Analyse du Cycle de Vie
ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
ADPIC : Accords Internationaux sur la Protection des Droits Intellectuels
AFD : Agence Française de Développement
AIE : Agence Internationale de l'Energie
AIEA : Agence Internationale de l'Energie Atomique
AITEC : Association Internationale de Techniciens, Experts et Chercheurs
AKST : Agricultural Knowledge, Science and Technology
APA : Protocole sur l'accès et le partage des avantages issu de l'exploitation de la biodiversité
APD : Aide Public au Développement
ASPO : Association for the Study of Peak Oil
BAD : Banque Africaine de Développement
BAU : Business As Usual
BGR : Bureau of Governmental Research
BM : Banque Mondiale
BP : British Petroleum
BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CAS : Centre d'Analyse Stratégique
CCG : Cycles Combinés au Gaz
CCNUCC : Convention Cadre des Nations-Unies sur les Changements Climatiques
CDB : Convention pour la diversité biologique
CEE : Certificats d'Economies d'Energie
CEI : Communauté des Etats Indépendants
CGDD : Commissariat général au Développement Durable
CIRA : Centres Internationaux de Recherche Agronomique
CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
COMES : COMité pour les MEtaux Stratégiques
CORPEN : Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'ENVironnement
COV : Certificat d'Obtention Végétale
CPE : classification périodique des éléments
CRE : Commission de régulation de l'énergie
CSIR : Conseil pour la recherche scientifique et industrielle
CUMAC : cumulé et actualisé sur la durée de vie du produit
DER : Directive énergies renouvelables
DGEC : Direction Générale de l'Energie et du Climat
DGEMP : Direction Générale De l'Energie et des Matières Premières
DOM-COM : Départements d'Outre-mer - Territoires d'Outre-mer
DPI : Droits de Propriété Intellectuelle
EEA : European Environment Agency
EMHV : biodiesel (ou ester méthylique d'huile végétale)
ENGREF : École Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts
EnR ou **ENR** : Energies Renouvelables
EPR : European Pressurized Reactor
EREC : European Renewable Energy Council

ETM : Energie Thermique des Mers
FAO : Food and Agriculture Organization
FED : Fonds européen de développement
MOX : Mélange d'Oxyde de plutonium et d'Oxyde d'uranium
GBO : Global Biodiversity Outlook
GCGRAI : Groupe Consultatif pour la Recherche Agricole Internationale
GES : Gaz à Effet de Serre
GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
GN : Gaz Naturel
GREP : Groupe de Recherche pour l'Education et la Prospective
GIER : Groupe International d'Etude des Ressources
GW : GigaWatt
HFC : HydroFluoroCarbures
HTA : Haute tension A
HTB : Haute tension B
ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IFP Energies nouvelles : Institut Français du Pétrole et des Energies Nouvelles
IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
INRA : Institut Scientifique de Recherche Agronomique
INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
IPBES : Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services
IRD : Institut de Recherche pour le Développement
KW : KiloWatt
LEADER : Liaison entre Actions de Développement de l'Economie Rurale
MDP : Mécanisme de Développement Propre
MEA : Millennium Ecosystem Assessment
MEDDE : Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie
MIT : Massachusetts Institute of Technology
MW : MegaWatt
NBP : National Balancing Point (pour le Royaume-Uni)
NIMBY : Not In My Back Yard
NKP : engrais nitrates, potasse et phosphates
NPI : Nouveaux Pays Industrialisés
NREAP : National Renewable Energy Action Plan
OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economiques
OEB : Office Européen des Brevets
OGM : Organisme Génétiquement Modifié
OIE : Office International de l'Eau
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
ONF : Office National des Forêts
ONG : Organisation Non-Gouvernementale
OPEP : Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole
PAC : Politique Agricole Commune
PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur
PANER : Plans d'Action Nationaux Energie Renouvelable
PDU : Plan de Déplacements Urbains
PED : Pays En Développement
PFC : Perfluorocarbure
PHI : Programme hydrologique international

PIB : Produit Intérieur Brut
PLH : Programme Local de l'Habitat
PLU : Plan Local d'Urbanisme
PME : Petites et Moyennes Entreprises
PMI : Petites et Moyennes Industries
PNAS : Proceedings of the National Academy of Sciences
PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement
PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PPE : Plan de Performance Energétique
PWR : Pressurized Water Reactor
REDD : Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation
RGA : Ressources Génétiques Agricoles
RIOB : Réseau International des Organismes de Bassin
RSE : Responsabilité Sociale des Entreprises
RTE : Réseau de Transport d'Electricité
SCOT : Schéma de Cohérence Territoriale
SMDD : Sommet Mondial du Développement Durable
SNB : Stratégie nationale pour la biodiversité
TEEB : The Economics of Ecosystems and Biodiversity
Tep : Tonne d'équivalent pétrole
TIC : Technologies de l'Information et de la Communication
UE : Union Européenne
UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature
UNESCO : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UPOV : Union pour la Protection des Obtentions Végétales
USGS : United States Geological Survey
WEC : World Energy Council
WRI : World Resources Institute
WWF : World Wildlife Fund

BIBLIOGRAPHIE

Etudes et rapports

Bates, B. C., Z. W. Kundzewicz, S. Wu et J. P. Palutikof, éd., 2008: *Le changement climatique et l'eau*, document technique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Secrétariat du GIEC, Genève, 236 p. URL : www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/climate-change-water-fr.pdf

Banque Mondiale, 2008. *Rapport sur le développement dans le Monde, 2008 - L'Agriculture au service du Développement*, co dirigé par Derek Byerlee et Alain de Janvry

British Petroleum, *Statistical Review of World Energy 2010*, Juin 2010, consultable sur le site de BP : <http://www.bp.com>

Chaumet J-M., Delpeuch F., Dorin B., Gherzi G., Hubert B., Le Cotty T., Paillard S., Petit M., Rastoin J-L., Ronzon T., Treyer S., 2009, *Agrimonde – Agricultures et alimentations du monde en 2050 : scénarios et défis pour un développement durable*, Rapport CIRAD-INRA, 194p.

Chevassus-au-Louis B. (dir.), 2009, *L'approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes*, Centre d'Analyse Stratégique (CAS). URL : <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/094000203/index.shtml>

FAO, *Situation des forêts du monde 2007*, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 2007

Greenpeace, 2009, *Agriculture at a Crossroads Food for survival*

IAASTD, Nienke Beintema *et al.*, *Évaluation internationale des connaissances, des sciences et des technologies agricoles pour le développement (IAASTD), Résumé général à l'intention des décideurs.*

IFREMER, *Les énergies renouvelables marines, Synthèse d'une étude prospective à l'horizon 2030*, 2008. Téléchargeable à l'adresse suivante : http://wwz.ifremer.fr/institut/content/download/39242/536346/file/Ifremer_synthese-etude-prospective-EnRM.pdf

MEA Board – Millennium Ecosystem Assessment Board, 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis*, World Resources Institute, Washington D.C.

Observ'ER, *Le baromètre EurObserv'ER*, Paris, 2011

Observ'ER – ADEME, *Le baromètre 2011 des énergies renouvelables électriques en France*, Paris, 2011

Purseigle François, *Agrifirme. Caractérisation des formes d'organisations sociales et économiques associées à l'agriculture de « firme »*. www.ensat.fr/modules/resources/download/commons/ensat-contributeurs/documents%20a%20telecharger/JREFrancoisPurseigle.pdf?site=ensat

Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique (2010), *3ème édition des Perspectives mondiales de la diversité biologique*, Montréal, 94 pages.

Roudart Laurence, « Les terres cultivables non cultivées dans le monde. Des disponibilités suffisantes pour la sécurité alimentaire durable de l'humanité ? », *Futuribles* n° 371, février 2011.

Sukhdev P. (dir.), 2008. *L'économie des écosystèmes et de la biodiversité*, Rapport d'étape. Communautés européennes / Ed. Welzel+Hardt, Wesseling.

TEEB, 2010, *Intégration de l'Économie de la nature. Une synthèse de l'approche, des conclusions et des recommandations de la TEEB.*

Tsedeke Abate et al. *Évaluation internationale des connaissances, des sciences et des technologies agricoles pour le développement (IAASTD), Résumé analytique du rapport de synthèse.*

MULTON Bernard et RUER Jacques, *Stocker l'électricité : oui, c'est indispensable et c'est possible. Pourquoi, où, comment ?*, Club Energies alternatives, Publication ECRIN en contribution au débat national sur l'énergie, avril 2003, téléchargeable : <http://www.ecrin.asso.fr/energies/>

Articles presse et revues scientifiques

Aubertin Catherine, *La biopiraterie*, Encyclopédie du développement durable, article n°7, mai 2006, en ligne : <http://www.encyclopedie-dd.org/encyclopedie/gouvernance/2-4-les-changements-globaux-effet/la-biopiraterie.html>

Aubertin C. et Filoche G., « Le Protocole de Nagoya sur l'utilisation des ressources génétiques : un jeu à somme nulle entre Nord et Sud » ?, *Mouvements*, mars 2011, URL : <http://www.mouvements.info/Le-Protocole-de-Nagoya-sur-l.html>

Azam Geneviève, « Les droits de propriété sur le vivant », *Développement durable et territoires* [En ligne], Dossier 10 : Biens communs et propriété, mis en ligne le 07 mars 2008, consulté le 04 avril 2012. URL : <http://developpementdurable.revues.org/5443>

Brahy Nicolas et Louafi Sélim : « La convention sur la diversité biologique à la croisée de quatre discours », *Les rapports de l'Idri* n°3, 2004

Bernard Chevassus-au-Louis, « L'appropriation du vivant : de la biologie au débat social », *Courrier de l'environnement de l'INRA* n°40, juin 2000

Centre d'études et de prospective, « La demande alimentaire en 2050 : chiffres, incertitudes et marges de manœuvre », *Analyse* n° 27, février 2011.

Centre d'études et de prospective, « La production agricole mondiale à l'horizon 2050 : comparaison de quatre prospectives », *Analyse* n° 28, juin 2011.

Hardin Garrett, *The Tragedy of the Commons*. *Science* (13 December 1968), Vol. 162. no. 3859, p. 1243-1248

Ruellan Alain, *Sols et développement durable*, Encyclopédie du développement durable, article n°1 mars 2006, URL : <http://encyclopedie-dd.org/encyclopedie/gouvernance/2-2-les-milieus-naturels/sols-et-developpement-durable.html>

Rastoin Jean-Louis, « Quel système alimentaire pour la planète en 2050 ? », *Revue économique et sociale* n° 68, 2010, p. 45-59.

Séné Abdourahmane Mbade, « Perte et lutte pour la biodiversité : perceptions et débats contradictoires », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Débats et Perspectives, 2010, [En ligne], mis en ligne le 25 novembre 2010. URL : <http://vertigo.revues.org/10358>

Varet J. (coord.), « Villes et géologie urbaine », *Géosciences*, n°10, décembre 2009

Vitousek Peter M., et al., *Human Domination of Earth's Ecosystems*, *Science* 277, 494 (1997)

Marris E., « Old Fuels, New Wealth », *Nature*, vol. 456, décembre 2008

Varet J., « Ressources minérales : un état des lieux », *Futuribles*, n° 381, janvier 2012, pp. 29-54

Varet J., « Les matières premières minérales. Flambée spéculative ou pénurie durable ? », *Futuribles* n° 308, mai 2005, pp. 5- 23

Varet J., « Il faut créer un Groupe intergouvernemental d'étude des ressources minérales », *La Revue*

Durable, N° 41 (mars - avril 2011), pp. 22-26

“Global cost estimates of reducing carbon emissions through avoided deforestation”, Georg Kindermann, Michael Obersteiner, Brent Sohngen, Jayant Sathaye, Kenneth Andrasko, Ewald Rametsteiner, Bernhard Schlamadinger, Sven Wunder and Robert Beach, Edited by Pamela A. Matson, Stanford University, Stanford, CA, and approved May 20, 2008 (received for review November 8, 2007), *PNAS* July 29, 2008 vol. 105 no. 30 10302-10307

Ouvrages

Boeuf Gilles, « Quel avenir pour la biodiversité ? » in *Un monde meilleur pour tous*, éditions Odile Jacob, janvier 2008. Il reprend les travaux de Lévêque et Mounolou, *Biodiversité. Dynamique biologique et conservation*, Paris, Dunod, 2011

Giraud Pierre-Noël. *Géopolitique des matières premières*, Paris, Economica, 1983

Latour B., *Nous n'avons jamais été modernes. Essai d'anthropologie symétrique*, Paris, La Découverte, « L'armillaire », 1991

Lévêque C., 2010. « Recherche et développement durable : l'utopie d'une approche systémique ? » in Villalba B. (ed.), 2010. *Appropriations du développement durable. Emergences, diffusions, traductions*, Presses Universitaires du Septentrion, Villeneuve d'Ascq, pp. 123-144.

Redaud J.-L., *Planète eau : repères pour demain*, Editions Johanet, 1999, 331p.

Autres publications

Avis du Comité économique et social européen sur les « Rapports entre changement climatique et agriculture au niveau européen », *Journal officiel de l'Union européenne*, 3 février 2009.

Boutaud A., 2011. « La biodiversité en question(s). Un éclairage synthétique sur la biodiversité à travers 8 questions. », Ed. Millénaire 3, Grand Lyon, Lyon. URL : <http://www.millenaire3.com/La-biodiversite-en-question-s.122+M54b1fe5c580.0.html>

Commission Européenne, « La Commission européenne propose un nouveau partenariat entre l'Europe et les agriculteurs ». http://ec.europa.eu/commission_2010-2014/ciolos/headlines/news/2011/10/20111012_fr.htm

Commission au Parlement européen et au Conseil, *Initiative «matières premières» — répondre a nos besoins fondamentaux pour assurer la croissance et créer des emplois en Europe*, Bruxelles, communication de la Commission au Parlement européen et au Conseil, COM (2008) 699, novembre 2008

Coordination Sud, « Les accaparements de terres, menace pour la sécurité alimentaire », *Les notes de la C2A* n° 3, octobre 2010.

Coordination Sud, « Faire face à la volatilité des prix agricoles », *Les notes de la C2A* n° 6, avril 2011.

ENGREF, *La place de l'évaluation économique de la biodiversité et des services écosystémiques dans les processus de décision*, Rapport du Travail du Groupe d'Elèves ENV2, Version du 26 Février 2009, Iddri, ENGREF p. 49-51

Gadrey J., 2011. « Préserver la nature en lui donnant un prix ? », Blog de Jean Gadrey pour Alternatives Economiques, 22/09/2011. URL: <http://alternatives-economiques.fr/blogs/gadrey/2011/09/22/preserver-la-nature-en-lui-donnant-un-prix/>

MEDDE, « Projet de caractérisation des fonctions écologiques des milieux en France », Commissariat

général au développement durable, *Études et documents* - Numéro 20 - Mai 2010 - 74 pages

Theys J., « L'environnement à la recherche d'une définition », *Notes de méthode de l'IFEN*, n° 1, juin, 1993

Vievard L., 2011, « Biodiversité : usages et représentations. », Ed. Millénaire 3, Grand Lyon, Lyon. URL : <http://www.millenaire3.com/Biodiversite-usages-et-representations.122+M5f5ca1c457d.0.html>

Wilson E.O., 2007. Interview in *La recherche*, juillet-octobre 2007. URL citation : http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbiodiv/index.php?pid=decouv_chapA&zoom_id=zoom_a1_1

Sitographie

<http://aspofrance.org>

<http://inter-engineer.com>

www.ademe.fr

www.brgm.fr

www.cedigaz.org

www.cirad.fr

www.cnrs.fr

www.developpement-durable.gouv.fr

www.electron-economy.org

www.encyclopedie-dd.org

www.energies-renouvelables.org

www.ifpenergiesnouvelles.fr

www.leblogenergie.com

www.observatoire-electricite.fr

www.rte-france.com/fr/

www.solagro.com

www.unesco.org

www.usgs.gov



ASSOCIATION 4D

Dossiers et Débats pour le Développement Durable
150-154 rue du Faubourg Saint-Martin 75010 Paris
Tél. : +33 (0) 1 44 64 74 94 - Fax : +33 (0) 1 44 64 72 76
Site Internet : www.association4d.org