



Université du Burundi

Faculté des Lettres et Sciences Humaines

Master « Sociétés, Pouvoirs, Territoires et Développement durable » SPTD

**« Problématique de la Gestion des Ressources
Naturelles »**

Syllabus de cours de Master SPTD, 1ère année

Volume horaire: 3 crédits

Par:

Pr Aloys NDAYISENGA

Année Académique 2025-2026

Bujumbura, Mai 2026

Table des matières

Introduction	1
I. Notions de base sur la gestion des ressources naturelles	3
I.1. Définition	3
I.2. Typologies	3
I.3. Enjeux	4
I.4. Le cas particulier des potentialités cachées	5
I.5. Exploitation non durable des ressources	5
I.6. Gestion durable, et donc plus « participative »	6
I.7. Notion de capital naturel	6
II. Le concept de ressource naturelle	7
II.1. Histoire du concept	8
II.2. Classement ou hiérarchisation des ressources	9
II.2.1. Valeur économique	9
II.2.2. Ressources vitales	9
II.2.3. Renouvelabilité	10
II.2.4. Avantages	10
II.2.5. Services rendus	10
II.3. Exploitation plus ou moins efficace ou efficiente des ressources naturelles	10
II.4. Raréfaction et gaspillage des ressources naturelles	11
II.5. Vision économique	13
II.6. L'information sur les ressources naturelles	13
II.7. Ressources naturelles et énergétiques dans le monde	14
II.7.1. Consommation énergétique mondiale	15
II.7.2. Unités de mesure	17
II.7.3. De l'énergie primaire à l'énergie finale	18
II.7.4. Classement des énergies primaires	18
II.7.5. Les ressources énergétiques mondiales sont-elles inépuisables ?	19
II.7.5. Energies non renouvelables	19
II.7.6. Énergies renouvelables	21
II.7.7. Impacts environnementaux de la consommation d'énergies	23

II.7.8. Surexploitation	24
III. Le Développement Durable	29
III.1. Définition	30
III.2. Enjeux et objectifs du développement durable	32
III.2.1. Crise écologique et sociale	32
III.2.2. Responsabilité à l'égard des générations futures	33
IV. Économie de l'environnement	36
IV.1. Contexte et approche économique	36
L'émergence du concept	36
L'objectif de l'économie de l'environnement	37
IV.2. Théorie économique et environnement	37
Principes fondateurs	38
Principe pollueur-payeur	39
Évaluation monétaire : la valeur de l'environnement	40
PIB vert	41
Outils de l'économie de l'environnement	42
V. Risques d'effondrements environnementaux et sociétaux	45
V.1. Définitions et causes d'un risque d'effondrement de la civilisation industrielle	46
Définitions	46
Causes	46
VI. Gestion des ressources naturelles	48
VI.1. Gestion restauratoire	48
VI.1.1. Lieux et exemples d'application	49
VI.1.2. Contenu, méthodes	49
VI.1.3. Réintroduire de la complexité dans un milieu homogénéisé par l'homme	50
VI.1.4. Renaturation des cours d'eau	50
VI.1.5. Réintroduire des espèces comme auxiliaires de gestion	51
VI.1.6. Remplacer certaines espèces disparues ?	51
VI.1.7. Les acteurs	52
VI.2. Gestion différenciée	52
VI.2.1. Les objectifs	55
VI.2.2. Méthodes alternatives aux produits phytosanitaires	56

VI.2.3. Gestion différenciée par type d'espace	60
Conclusion et recommandations	64
Références bibliographiques	67

Fiche descriptive du cours de « Problématique de la gestion des ressources naturelles »

Processus	Paramètres	Description
Elaboration	Thème	Problématique de la gestion des ressources naturelles
	Objectif général	Cette formation doit permettre aux étudiants d'acquérir les concepts théoriques utilisés en environnement en général et dans le domaine des ressources naturelles en particulier.
	Prérequis	Beaucoup déjà vus dans le cursus de Bac en Environnement et en Aménagement et autres domaines jugés équivalents.
	Objectifs spécifiques	<ul style="list-style-type: none"> - Apprendre aux étudiants ce que c'est une ressource naturelle - Faire une typologie des ressources naturelles. - Montrer aux étudiants que les ressources naturelles mondiales sont menacées par l'exploitation anthropique - Montrer comment gérer les ressources naturelles qui subsistent encore
	Conditions générales	Format adopté : 75 h (30 h de cours magistral, 15h de TP/TD et 25 h TPE) Nombre d'étudiants : 20 Matériel : Documentation disponibles dans les bibliothèques, internet
	Bref contenu du cours	Les ressources naturelles mondiales (forêts, faune terrestre et halieutique, eau douce, air, ressources énergétiques renouvelables et non renouvelables etc.) sont menacées par l'activité de l'homme. Avec la pression démographique sur ses dernières conjuguée à une demande sans croissante, leur surexploitation suscite des inquiétudes pour les personnes avisées. La gestion des ressources encore disponibles incombe à plusieurs acteurs pour un développement intégré et durable.
	Références bibliographiques	<ul style="list-style-type: none"> - AFP (2018) <i>Incertitude autour des métaux face au développement des véhicules électriques et du stockage</i> [archive] 28 juin - ALLAIN Yves-Marie, « La ville: un territoire nouveau pour la nature? La gestion différenciée en Europe », <i>Journal d'Agriculture Traditionnelle et de Botanique Appliquée</i>, vol. XXXIX, n° 2, 1997, p. 205. - ASKINS, R. A. 1998. <i>Restoring forest disturbances to sustain populations of shrubland birds</i>. Restoration and Management Notes 16:166–173. CSA. - BIHOUIX Philippe et GUILLEBON Benoît, <i>Quel futur pour les métaux ? Raréfaction des métaux : un nouveau défi pour la société</i>, EDP Sciences, 2010. - COLLET Philippe, <i>Affichage environnemental : premières leçons de l'expérimentation</i>, <i>Actu-Environnement</i>, 2011-10-14. - GONZALEZ, A., Ronce, O., Ferriere, R., & Hochberg, M. E. (2013). <i>Evolutionary rescue: an emerging</i>

		<p><i>focus at the intersection between ecology and evolution</i>. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 368(1610), 2012</p> <ul style="list-style-type: none"> - Groupe Zones humides, 2018, <i>Zones Humides Infos</i> n° 94: <i>Pâturage traditionnel ou original en zone humide</i>, Le pâturage naturel, un concept peu développé en France, M. Michelot, « Zones Humides Infos n°94: Pâturage traditionnel ou original en zone humide » [archive], sur http://snpn.com [archive], 2018 - Guide technique de la gestion raisonnable des espaces communaux, mis à jour en novembre 2010, par l'association GENTIANA et la commune de Jarrie - Josh Donlan, « Le retour des éléphants et des lions en Amérique », <i>Pour la Science</i>, n° 368, juin 2008. - La loi du 10 juillet 1976 en France a introduit l'obligation faite au maître d'ouvrage responsable d'un projet d'aménagement ayant des impacts sur l'environnement, de mettre en place des mesures pour « éviter, réduire, et compenser » (séquence ERC). Cf Pierre Jacquemot, <i>Le dictionnaire encyclopédique du développement durable</i>, Sciences Humaines, 2017, p. 87. - Le Parc de la Briquette à Meurchin (62) : http://natureimages.blogspot.fr/2014/05/le-parc-de-la-briquette-meurchin-pas-de.html - LEGRAND A. ; KEIME M.P. ; GENARD M. ; <i>La gestion extensive des dépendances vertes routières</i> ; Paris : Ministère de l'environnement - Direction de la Nature et des Paysages, ministère de l'Équipement des transports et du tourisme, Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, 1994, 119 p. - MALAVOI - Biotec (2007), Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau, Agence de l'eau Seine-Normandie. - OLIVETTI E.A & Cullen J.M (2018) <i>Toward a sustainable materials system</i> [archive] ; Science 29 Jun 2018: Vol. 360, Issue 6396, pp. 1396-1398 (résumé [archive]) - WINGERT Jean-Luc, <i>La vie après le pétrole</i>, pages 57 à 79.
	Informations	<ul style="list-style-type: none"> - Rappel sur les notions en rapport avec le travail - Références bibliographiques - Notes de cours - Document Powerpoint - Documentaires audiovisuels
	Activités	<p>Participation active au cours</p> <p>Travaux en groupe</p>
Intervention	Déroulement	<p>Cours magistral : 35 h</p> <p>Travaux pratiques en groupe ou individuel : 10 h</p>

	Productions	Rapport des TP
	Motivation	Le cours magistral permet aux étudiants de comprendre davantage les concepts de Ressources, Sociétés, Environnement et leur interrelation
	Interactions	Discussions entre l'enseignant et les étudiants sur les notions de base du cours.
Appropriation	Évaluation	Examen écrit et évaluation des TP/TD

Introduction

L'humanité toute entière devrait prendre en compte la gestion des ressources naturelles. En effet, la protection et la gestion durable du sol, de l'eau et de la terre, ... sont cruciales pour garantir un avenir meilleur aux futures générations. La quantité des ressources naturelles disponibles dans la nature est limitée ; *« les ressources ne sont pas indéfiniment exploitables, elles ne sont pas inépuisables et la croissance de la population est contrainte par cette finitude par une limite de la disponibilité des ressources »* (Malthus et les malthusiens) *« il y a une limite à l'exploitation des ressources de la terre que l'homme ne pourra dépasser, du moins dans un horizon prévisible et avant une rupture irréversible entre la population et les ressources »* (Club de Rome).

Si Malthus a établi son principe de population en raisonnant à partir de la terre et de sa capacité à produire des biens alimentaires, aujourd'hui, le même raisonnement est tenu pour diverses ressources naturelles (terre, eau, matières premières, forêts et même l'air : **malthusianisme environnemental**), ou économique (capital, bien de production, richesses diverses : **malthusianisme économique**).

L'épuisement des ressources naturelles est une réalité et devient de plus en plus inquiétant. En effet, les ressources fossiles vont s'épuiser dans un proche avenir. Dans l'histoire de l'humanité, l'énergie a toujours occupé une place très importante. Cependant aujourd'hui, plusieurs problèmes se posent :

- **nous consommons de plus en plus** : en 50 ans, notre consommation d'énergie a été multipliée par 5. Au rythme de la consommation mondiale, les stocks de matières fossiles commencent à s'épuiser ;
- si nous trouvons de nouveaux gisements une fois nos réserves épuisées, **ils seront plus profonds. Nous aurons donc besoin de plus d'énergie pour les exploiter et cela participera au changement climatique.**

Dans la famille des ressources non renouvelables, il y a les **métaux rares ou critiques dont les réserves ne cessent de diminuer**. Ce sont des métaux présents en très petite quantité dans la nature. Ils sont **extrêmement coûteux et difficiles à extraire**. Pourtant, **on les retrouve dans quasiment tous nos appareils électroniques**. Lithium, cobalt, dysprosium, platine, palladium... tous permettent de faire fonctionner nos smartphones, ordinateurs, écrans plats. Et plus les innovations technologiques s'accélèrent, la demande en métaux augmente de jour en jour. Les pays fabricants sont devenus de plus en plus dépendants de ceux qui possèdent ces métaux sur leur sol. Or, certains pays sont instables politiquement ou souhaitent garder ces métaux pour leur propre usage. Par exemple, **notre téléphone portable est riche en métaux précieux** comme l'or, l'argent et le palladium, mais aussi en métaux rares comme le lithium, le tantale, le cobalt. Il est également composé de métaux de base (cuivre, métaux ferreux, etc.). De sa fabrication à sa destruction, un téléphone portable épuise autant de matières premières que l'extraction de 7,4 kg

de cuivre, consomme autant d'énergie que 57 km en avion, émet autant de gaz à effet de serre que 85 km dans une voiture moyenne.

La ressource eau devient de plus en plus un bien précieux et fragile. La Terre est appelée **planète bleue** parce que **l'eau recouvre les trois quarts de sa surface**. 97% de cette eau est salée et moins de 1% peut être utilisée directement par les êtres humains (l'eau douce). Son problème n'est pas sa quantité (voir cycle de l'eau), mais sa mauvaise répartition, son gaspillage et sa pollution. La quantité d'eau disponible a fortement diminué dans ces trois dernières décennies. Certains pays, selon leur position géographique, et leur condition de développement ont de l'eau en quantité alors que 11% de la population mondiale sont sans accès à l'eau potable. C'est la première cause de mortalité dans le monde. Avec le changement climatique, ce fossé va encore se creuser. Dans certaines régions du monde, les pluies vont être plus importantes, mais sur des périodes plus courtes. Pendant que dans d'autres régions, déjà souvent touchées par des sécheresses, les précipitations vont devenir de plus en plus rares.

Les forêts de la planète sont très menacées par l'action anthropique car, chaque année, 13 millions d'hectares de forêts disparaissent. Les causes ? La création de terres agricoles, la surexploitation du bois, les feux de brousse, mais aussi le changement climatique. Cela affecte le peuplement des forêts, les animaux, les végétaux, les sols et le climat. On estime que « **20% des émissions de gaz à effet de serre dues aux activités humaines proviennent de la dégradation des forêts** » (source : WWF) car les arbres et les plantes ne peuvent plus absorber le CO₂ par photosynthèse.

Les **ressources halieutiques** sont menacées de surexploitation car nous consommons de plus en plus de produits de la mer et on considère que :

- 90% des espèces de poissons sont exploitées au maximum ou surexploitées dans le monde ;
- même si nous consommons davantage les produits de l'aquaculture, le problème de l'épuisement demeure, car les poissons d'élevage sont partiellement nourris avec ceux de la pêche.

Contrairement aux métaux pour lesquels nous pouvons découvrir de nouveaux gisements (même plus impactant pour l'environnement), la quantité de poisson dans les océans est une estimation qui ne pourra ni doubler ni tripler par l'exploration des fonds marins. Nous ne pourrons pas découvrir de nouveaux océans. Il est donc nécessaire de modifier notre consommation.

En définitive, l'homme doit changer sa façon de consommer pour économiser les ressources. Il doit impérativement repenser de manière efficace et durable son modèle de société. S'il veut continuer à utiliser le téléphone portable et le vélo électrique, il doit trouver des alternatives aux ressources non renouvelables et changer l'utilisation et la gestion des ressources renouvelables.

Des stratégies de gestion des ressources naturelles doivent être élaborées, organisées pour obtenir un plan de gestion des ressources naturelles. Ce dernier identifie les problèmes clés, détermine des objectifs et des buts clairs, donne une description détaillée des activités (avec un calendrier comprenant les dates et le nom des personnes responsables ainsi qu'une liste des ressources nécessaires) et présente un budget détaillé pour exécuter le plan. Il identifie aussi les indicateurs qui permettront au groupe de suivre et de mesurer les réussites et les difficultés.

I. Notions de base sur la gestion des ressources naturelles

I.1. Définition

On appelle **ressource naturelle** tout élément d'un milieu (substance, organisme, objet) susceptible d'être exploité pour satisfaire les besoins de l'homme.

Une **gestion raisonnable des ressources naturelles** est une gestion qui permet à ces ressources de se renouveler et d'être conservées de manière pérenne, sans être menacées par la surexploitation. La surexploitation a été identifiée dès le XVIII^e/XIX^e siècle comme cause de stagnation voire de recul économique par Ricardo et Malthus.

Cette **gestion durable** est une condition et un enjeu de survie pour l'humanité et de nombreuses autres espèces qui partagent la biosphère avec elle. Elle est un des éléments du développement soutenable.

En économie, le principe de la **rente d'Hotelling** (ou « **rente de rareté** ») postule qu'une rente est rendue possible par la quantité limitée de ressources non renouvelables ; situation qui peut conduire à la surexploitation d'une ressource fut-elle vitale (ex : surpêche).

Au-delà d'un certain seuil (de pression, qui est aussi le seuil de surexploitation), une ressource *a priori* renouvelable (ex : forêt, ressource halieutique ou cynégétique¹) peut devenir épuisable ; la gestion durable d'une ressource vise à éviter que ce seuil ne soit jamais atteint. Le cas extrême de mauvaise gestion de ces ressources, avec dépassements de seuils irréversibles, conduirait au collapsus écologique avec destruction de l'espèce humaine et d'une partie de son environnement par elle-même.

I.2. Typologies

La notion de *gestion de ressource* répond à celle d'"**exploitation des ressources naturelles**". Ces deux notions concernent des **types de ressources** très différentes (souvent dites « *ressources de stock* » et « *ressources de flux* », qui subissent des « pressions » (et par suite de « réponses ») de

¹ Faune sauvage

nature et d'intensité différente selon les ressources, mais aussi les régions. On distingue généralement les types de ressources suivantes :

❖ **Ressources énergétiques:**

- non renouvelables : uranium et ressources fossiles (notamment le pétrole, le gaz, le charbon et la tourbe). Ici la notion de gestion se limite à une extraction, un transport et une utilisation moins polluants ;
 - Renouvelables (soleil, vent, courant, chute d'eau, traction animale, certaines formes de méthanisation, la biomasse, la géothermie²...) ;
- ❖ Ressource en eau (potable, d'irrigation...) ;
 - ❖ Ressources agricoles (plus ou moins sélectionnées par l'Homme, parfois depuis plusieurs milliers d'années, et qui dépendent aussi de la ressource en sol et en eau, ainsi que de la diversité génétique des plants et graines ;
 - ❖ Ressources alimentaires directement prélevées dans la nature (ressources cynégétiques, ressources halieutiques, produits issus de la cueillette) ;
 - ❖ Ressources minérales et ressources minières (minerais, ciment, certains engrais...) ;
 - ❖ Ressources en bois (bois-matériau, bois-énergie, puits de carbone, élément de fixation des sols, etc.) ;
 - ❖ Ressources en fibres (végétales, issues du bois) ;

Toutes ces ressources proviennent plus ou moins directement de l'environnement naturel. A la marge on peut y intégrer les ressources foncières (foncier agricole et sylvicole notamment), les ressources humaines...

I.3. Enjeux

Ils sont longtemps restés différenciés et « locaux » (la ressource en eau a par exemple une importance très différente en zone aride saharienne de ce qu'elle aurait au Royaume-Uni ou au Costa Rica où l'eau manque rarement). Avec une économie mondialisée et souvent prédatrice à l'égard des ressources naturelles, ces enjeux sont devenus globaux. Une prise de conscience du caractère limité des ressources naturelles semble se faire à grande échelle, notamment matérialisées par le Rapport Meadows, du club de Rome (en 1972), puis par de grandes conférences internationales et/ou intergouvernementales organisées depuis le Sommet de la Terre de Rio (juin 1992) sous l'égide des Nations-Unies, sont apparues à la fin du XX^e siècle les concepts de **gestion durable**, **gestion raisonnable** et raisonnée, de **gestion restauratoire**, et **différenciée**, qui tous demandent de tenir compte d'état des lieux, d'**analyse de la valeur** et des enjeux, du contexte, de la **résilience écologique** et du caractère plus ou moins *pas, peu,*

² L'**énergie géothermique** dépend de la chaleur de la Terre. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité dans les centrales géothermiques, grâce à l'eau très chaude des nappes dans le sous-sol de la Terre. La température des roches augmente en moyenne de 1 °C tous les 30 m de profondeur.

difficilement, coûteusement, lentement ou non renouvelable des ressources, ainsi que de l'interdépendance qui les lie souvent.

I.4. Le cas particulier des potentialités cachées

De nombreux services écosystémiques ou d'autres ressources (d'intérêt économique ou autre) n'apparaissent comme ressource que quand ils commencent à manquer, ou quand on a pris conscience de leur existence et qu'on est techniquement capable de les utiliser (le radium ou certaines terres rares ne présentait aucun intérêt économique évident avant qu'on ne prenne conscience de leurs propriétés particulières). De même, la consommation effrénée de certaines ressources (ex : énergies fossiles, ou métaux toxiques) a eu et aura longtemps des effets secondaires négatifs pour la santé et l'environnement, effets dont on n'a pris conscience que tardivement.

Des *potentialités* et externalités (positives ou négatives) sont virtuelles ou dormantes dans les ressources minérales ou naturelles vivantes (biodiversité). La prise de conscience de ce fait pose des questions morales et éthiques. Pour le prospectiviste notamment, dans un contexte de crise écologique, climatique et socio-économique, la consommation croissante de ressources non renouvelables, la surexploitation de ressources renouvelables et la destruction accélérée de la biodiversité par l'Homme deviennent des enjeux centraux. Il est en effet probable qu'un certain nombre de bénéfices futurs potentiellement importants aient été obérés³ par une surexploitation de ressources minérales et par une exploitation gaspilleuse et destructrice de la biodiversité et des ressources renouvelables d'origine biologique. Ces notions invitent à l'introduction de principe de prudence, de recyclabilité, de précaution dans l'économie.

I.5. Exploitation non durable des ressources

Depuis la préhistoire, l'exploitation de la nature et de la plupart de ses ressources s'est faite d'une manière de moins en moins durable, voire de manière insoutenable (avec disparition totale de la ressource concernant par exemple un grand nombre d'espèces animales chassées ou pêchées ou la variété génétique des plantes cultivées). Ceci est la cause de dégâts environnementaux, mais aussi sociaux, économiques, climatiques ou sanitaires croissants, et au-delà de crises écologiques, de sorte que l'exploitation non-durable des ressources naturelles peut menacer l'existence humaine. Sans doute, le paradigme mécaniste a-t-il conduit l'être humain à se comporter comme un *exploitant*, et non comme un *gérant* des ressources naturelles qui ont été mises à sa disposition.

³ Endetter fortement, jusqu'à la ruine, c'est-à-dire accabler d'une lourde charge financière, charger de factures et de dettes

I.6. Gestion durable, et donc plus « participative »

Afin de remédier aux dégâts occasionnés sur l'environnement, des principes ont été définis afin de gérer d'une façon raisonnable les ressources naturelles, sans surexploitation. Dans le cas des ressources non-fossiles ayant une origine biotique (origines animales, végétale, microbienne, fongique⁴, écosystémiques), souvent il s'agira de gérer les conditions d'auto-entretien des ressources, qui passent par le maintien ou la restauration du *bon état écologique* et des capacités de *résilience écologique*.

Certains auteurs et organismes (dont l'UICN qui a mis en place un groupe de travail sur la gestion participative (GTGP), le WWF⁵ qui, via les écolabels FSC et MSC propose d'associer respectivement les populations et les pêcheurs à la gestion des ressources forestières et halieutiques, GTZ⁶...) proposent de développer une *gestion participative des ressources naturelles* basée sur la **négociation, l'apprentissage** et des approches collaboratives, avec un objectif de réduction de la pauvreté et des inégalités. Ils parlent aussi de gestion pluripartite ou de gestion collaborative. Pour l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature), la gestion participative désigne toute « *situation dans laquelle au moins deux acteurs sociaux négocient, définissent et garantissent entre eux un partage équitable des fonctions, droits et responsabilités de gestion d'un territoire, d'une zone ou d'un ensemble donné de ressources naturelles* ». Elle peut s'appuyer sur une gestion adaptative définie par l'UICN comme *une approche de la gestion reconnaissant, d'une part, le manque de connaissance univoques et définitives sur le comportement des écosystèmes et, d'autre part, l'incertitude qui domine notre interaction avec eux*, le pluralisme (intégrant notamment le droit coutumier), une bonne gouvernance, une gestion patrimoniale, une gestion des conflits, la communication sociale, et un accès égal à toutes les informations utiles.

Des auteurs comme D'aquino et Seck (2001) se demandent si les approches participatives sont adaptées ou non à la gestion décentralisée de territoire et il existe aussi des analyses critiques de certains *arrangements institutionnels* et comportements opportunistes ou égoïstes apparaissant dans le cadre de ce mode particulier de gestion (en Inde dans les sociétés marquées par les castes notamment ont constaté Agrawal (1994) et Andersen (1995)).

I.7. Notion de capital naturel

La notion de capital naturel a été introduite en économie de l'environnement afin de définir des modes de production et de mode de consommation plus durables. Le capital naturel correspond *grosso modo* au facteur de production terre de l'économie classique, en intégrant toutefois et de

⁴ De la nature des champignons

⁵ World Wildlife Fund (Fond Mondial pour la Nature).

⁶ Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Coopération Technique Allemande)

plus en plus des notions plus complexes (biodiversité, résilience écologique, empreinte écologique, surexploitation).

II. Le concept de ressource naturelle

De manière générale, une **ressource naturelle** est une substance, un organisme, un milieu ou un objet présent dans la nature, sans action humaine, et qui fait, dans la plupart des cas, l'objet d'une utilisation pour satisfaire les besoins (énergies, alimentation, agrément, etc.) des humains, animaux ou végétaux. Il peut s'agir de:

- d'une matière première minérale (par exemple : l'eau douce, les granulats, les minerais métalliques, etc.) ;
- d'un produit d'origine sauvage (ex.: le bois, le poisson, le gibier, etc.) ;
- d'un milieu naturel, source de services écosystémiques (ex. : eau, air, sol, forêt, tourbière, zone humide...) ;
- d'une matière organique fossile (comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel, le lignite ou la tourbe...) ;
- d'une source d'énergie (énergie solaire, énergie éolienne...) ;
- et par extension d'un service écosystémique (la production d'oxygène *fournie* par la photosynthèse par exemple).

Depuis les années 1970, cette notion s'est peu à peu élargie aux ressources nécessaires à tout organisme ou écosystème, ainsi qu'à tous les secteurs socio-économiques. Ainsi, les surfaces de sols bioproductifs disponibles (une composante du foncier agricole), la qualité de l'eau ou de l'air, l'aspect des paysages, la biodiversité... constituent d'autres aspects des ressources naturelles ; ils sont pris en compte en France par un projet de *Plan Ressources* associé à la stratégie promouvant l'économie circulaire.

La vulnérabilité, la faible disponibilité ou le faible renouvellement de certaines ressources caractérisent les ressources non renouvelables (exemple : le pétrole), par opposition aux ressources renouvelables (ex. : la biomasse) qui ne sont pas pour autant inépuisables. Alors que la population mondiale et l'empreinte écologique de l'humanité s'accroissent inexorablement, la gestion durable des ressources est devenue un enjeu important.

Dans le cadre de sa *Stratégie nationale de transition vers l'économie circulaire*, la France a décidé en 2015 de mettre en place un Plan de programmation des ressources (mis en consultation mi-2017 et qui sera mis à jour tous les cinq ans).

D'après les estimations actuelles, l'utilisation des ressources naturelles devrait augmenter de 110% d'ici les années 2050, ce qui entraînerait une réduction de plus de 10% des forêts et

d'autres habitats tels que les prairies d'environ 20%. Les conséquences sur les changements climatiques sont significatives, les émissions de gaz à effet de serre augmenteraient de 43%.

II.1. Histoire du concept

La notion de *ressource naturelle* (exprimée sous cette forme précise) semble relativement récente. Elle a de plus beaucoup évolué depuis les années 1970 accompagnant les avancées de la connaissance scientifique et des progrès techniques (la diversité est ainsi devenue une nouvelle ressource, pour le génie génétique, ressource valorisée par le brevetage du vivant, par ailleurs très discuté pour des raisons éthiques et de risque écotecnologique).

On a d'abord considéré comme ressources naturelles la biomasse⁷ utile et les « matières premières », puis les formes d'énergie utiles aux hommes et en particulier à l'agriculture, à la sylviculture et à la pêche, puis à l'industrie (bois de feu, traction animale, moulins à vent et à eau, puis carburants fossiles et enfin nucléaire).

Par exemple, de l'Antiquité à l'ère industrielle, le sel avait une grande valeur, non parce qu'il était rare sur la planète, mais parce qu'il était vital pour la santé (il servait à la conservation d'aliments par le salage), et peu accessible loin de la mer, et qu'il faisait l'objet de taxes importantes. Le pétrole (encore inconnu) avait alors bien moins de valeur.

Ces valeurs ont été renversées au XIX^e et XX^e siècles où les ressources fossiles sont devenues vitales pour l'industrie, la pêche et l'agriculture, mais aussi pour le bâtiment, les transports et de nombreux services. Et si le coltan a une valeur tant pour les Européens, Américains et autres pays technologiquement avancés, mais aussi pour certaines régions africaines sous-développées, c'est parce que les rapports marchands les ont mis en contact.

Peu à peu la valeur d'aménité de certaines ressources est apparue ; plus difficile à quantifier, mais bien réelle, traduite par exemple par l'engagement de nombreuses personnalités et courants pour la protection de la naturalité (*Wilderness*) aux États-Unis et par les romantiques européens, dont les peintres de l'école de Barbizon qui ont obtenu le classement de la Forêt de Fontainebleau près de Paris. L'augmentation actuelle des prix des terrains aux abords des milieux naturels et paysages remarquables en est une autre manifestation. Les aménités sont aussi et par exemple en France prise en compte par la LOADDT (Loi Voynet).

À la fin du XX^e siècle, avec l'apparition et la rapide diffusion du concept de développement durable, en réaction notamment à la dégradation et raréfaction ou disparition de nombre des ressources naturelles, la notion de fonctionnalité écologique et de service écologique a élargi celle de ressource naturelle aux ressources utiles ou indispensables non seulement à l'Homme,

⁷ La **biomasse** regroupe toutes les matières organiques vivantes qui peuvent être transformées en chaleur, en biocarburants, ou encore en électricité. Le bois, les plantes, les déchets agricoles, les céréales sont des biocarburants, valorisés pour produire de l'énergie.

mais aussi à l'ensemble des écosystèmes. Un nouveau paradigme apparaît alors clairement : les ressources planétaires sont limitées, elles rendent des services indispensables voire irremplaçables, mais surtout, elles apparaissent comme le produit des écosystèmes et plus généralement de la biodiversité, qui en tant que tels deviennent eux-mêmes des ressources vitales à protéger pour pouvoir les exploiter durablement ou pour qu'ils continuent à produire leurs services « gratuits », en particulier produire l'oxygène, l'eau, les sols, qui nous sont vitaux. Cette approche a notamment été précisée par l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire, première évaluation mondiale de l'état de santé des écosystèmes et de leurs fonctionnalités).

On qualifie maintenant un élément écopaysager de ressource naturelle quand il peut satisfaire un des besoins de l'être humain, mais aussi des communautés écologiques qui constituent les écosystèmes. Les habitats naturels, résultant pour partie de l'activité des espèces qui y vivent, sont ainsi eux-mêmes considérés comme des ressources naturelles.

La loi constitutionnelle sur la charte de l'environnement, rappelle que les ressources et les équilibres naturels ont conditionné l'émergence de l'humanité ; (...) l'avenir et l'existence même de l'humanité sont indissociables de son milieu naturel (28 février 2005).

II.2. Classement ou hiérarchisation des ressources

Les ressources peuvent être classées comme étant « pas, peu, difficilement, coûteusement ou lentement renouvelables ou vitales » et/ou selon un critère de type « remplaçables / irremplaçables ».

II.2.1. Valeur économique

Les tenants de l'approche économique classique considèrent qu'une matière première d'origine naturelle, voire un service écosystémique peuvent être considérés comme étant une *ressource naturelle* de valeur à partir du moment où celle-ci aura acquis une **valeur économique et marchande**. Hormis pour les matériaux (ex. : fibres végétales, argile...) et les carburants (fossiles ou non), il reste néanmoins difficile de quantifier la valeur de telles ressources, souvent immatérielles (pour les services qu'elles rendent) en unités monétaires.

II.2.2. Ressources vitales

Les ressources dites naturelles peuvent aussi être classées selon certaines de leurs caractéristiques *ressources plus ou moins vitales* (ex. : l'air et en particulier l'oxygène issu de la photosynthèse sont particulièrement vitaux ; tout en étant une ressource encore très commune).

La biodiversité est parfois qualifiée de « ressource des ressources » en tant qu'elle est la source première de nombreuses ressources vitales telles que l'air, l'eau potable et tout ce que nous

mangeons, ainsi qu'une grande partie des sources d'énergie (fossiles et biomasse), des médicaments, des fibres textiles ou papetières, etc.

II.2.3. Renouvelabilité

Les exigences de développement durable ont conduit à classer les ressources naturelles selon leur caractère renouvelable ou non. On s'attache ainsi à une utilisation durable des ressources, afin de respecter les critères environnementaux, sociaux et économiques du développement durable. Les ressources naturelles sont fréquemment classées en deux catégories :

- ressources renouvelables ;
- ressources non renouvelables (ou ressources fossiles).

II.2.4. Avantages

On parle ainsi d'avantage physique ou écologique offerts par certaines ressources naturelles, via les écosystèmes ; tel qu'un microclimat (bocage, zone boisée, prairies...) ou la proximité d'un cours d'eau ou d'un lac (pour l'irrigation, la lutte contre les incendies), d'une nappe ou de la mer (pour la pêche et le tourisme), etc.

II.2.5. Services rendus

Un écosystème peut avoir une valeur importante, voire vitale de *service* (et donc de ressource), même s'il n'est pas exploité.

Ces services écologiques sont encore mal évalués (quantitativement et sur le plan de l'équivalence en valeur économique), mais ils prennent une grande importance, en particulier pour la fonction de *puits de carbone* que jouent les mers, sols et forêts dans les cycles qui stabilisent rétroactivement le climat.

II.3. Exploitation plus ou moins efficace ou efficiente des ressources naturelles

L'exploitation des ressources naturelles est une activité constante et vitale pour tout être vivant. Quand une ressource est limitée naturellement, à la suite d'une catastrophe naturelle (incendie, inondation...), ou d'une action humaine, il peut y avoir surexploitation, puis éventuelle disparition de la ressource. « *Lorsque l'homme aura coupé le dernier arbre, pollué la dernière goutte d'eau, tué le dernier animal et pêché le dernier poisson, alors il se rendra compte que l'argent n'est pas comestible* », proverbe amérindien. « *Nous n'avions pour eux aucune haine. Ils faisaient métier de loups comme nous faisons métier d'hommes. Ils étaient créatures de Dieu. Comme nous. Ils étaient nés prédateurs. Comme l'homme. Mais ils étaient restés prédateurs, alors que l'homme était devenu destructeur* », Paul Emile Victor.

Les phénomènes de surexploitation semblent très rares dans la nature où ils sont régulés par des boucles de rétroactions écologiques (une espèce qui surexploite son environnement est affaiblie faute de ressource, ses populations régressent, ce qui laisse à ses ressources le temps de se reconstituer, ou les individus se heurtent à des réactions des espèces exploitées (ex : production de tanins amers par les végétaux consommés par des herbivores).

L'homme semble être devenu un cas particulier, qui de par sa multitude et ses capacités, a considérablement développé l'exploitation des ressources naturelles en activités industrielles (organisées pour) du type extraction du pétrole ou de minerais, la pêche ou l'exploitation du bois.

La plupart des activités primaires sont directement associées à l'exploitation primaire ou secondaire (transformation, recyclage) des ressources naturelles :

- agriculture, pêche, sylviculture, culture ou exploitation des champignons, fruits sauvages, etc. ;
- production de fibres animales et végétales ;
- exploitation de matériaux minéraux ;
- activités d'exploitation d'énergies primaires (plus ou moins fossiles et renouvelables) ;
- le puisage ou la purification de l'eau ;
- valorisations technologiques, biotechnologiques et industrielle du vivant ;
- etc.

Mais les experts ont montré que les activités tertiaires (services) contribuent également à exploiter indirectement des ressources naturelles, à travers les transports et l'énergie consommée dans les bâtiments.

Des économistes évoquent une « *malédiction des matières premières* », les nations les plus riches en ressources naturelles souffrant souvent d'une grande pauvreté, d'une mauvaise gouvernance et de conflits. D'après le journaliste Tom Burgis, il s'agit d'« un système de pillage organisé » par des intérêts privés comme les multinationales Shell ou KBR, qui soudoient des responsables locaux pour des contrats pétroliers et miniers.

II.4. Raréfaction et gaspillage des ressources naturelles

Un enjeu majeur pour le XXI^e siècle est de diminuer la consommation de nombreux types de ressources naturelles pas ou peu renouvelables, qui sont en train de s'épuiser ; c'est une condition du développement durable. Les ressources en eau sont déjà insuffisantes dans certaines régions du monde. La ressource en poissons marins est mise à mal, et plus généralement les services dépendant de la biodiversité. Bien avant la fin de ce siècle, plusieurs ressources non renouvelables devraient être épuisées ou quasi épuisées au rythme d'extraction du début du siècle : Il en est ainsi du pétrole, pour lequel les experts discutent de la date de survenue du **pic**

pétrolier, mais aussi du gaz naturel (**pic gazier**), de l'uranium, et de nombreux minerais. Plus généralement on parle de **pic de Hubbert** lorsque la moitié du stock d'une ressource naturelle est épuisé et que la production commence à décroître.

Moins médiatisée au XX^e siècle que celle du pétrole, la gestion de la raréfaction des métaux est aussi un enjeu du XXI^e siècle, étant donnée la forte consommation de métaux par de nombreux secteurs d'activité : informatique, aéronautique, stockage de l'énergie et certaines technologies vertes. Les réserves mondiales de nombreux métaux stratégiques se situent entre 30 et 60 ans de production annuelle. Selon Philippe Bihouix et Benoît de Guillebon, auteurs de l'ouvrage francophone de référence sur ce sujet, « *le recours au recyclage ne suffira pas* » ; il faut économiser cette ressource à court et moyen termes.

Des statistiques sur l'évolution quantitative et qualitative du stock de ressources naturelles existent dont un indicateur simple est aussi l'empreinte écologique. Les études du World Wide Fund for Nature montrent que l'empreinte écologique globale de l'humanité dépasse depuis les années 1970 la capacité de la Terre à renouveler les ressources naturelles.

En 2011, selon l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE) qui a évalué les stratégies de 31 États-membres en matière d'efficience pour l'usage des ressources, d'importants progrès restent à faire, ainsi qu'en matière d'information environnementale et d'affichage environnemental. L'AEE invite à préciser et mettre en œuvre les notions de découplage, d'usage durable, minimal ou soutenable des ressources (souvent considérés comme des synonymes). En 2011, seuls l'Allemagne, l'Autriche et la région Flandres (Belgique) ont des stratégies spécifiquement destinées à l'usage efficace des ressources et seuls cinq pays (Autriche, Chypre, Espagne, Hongrie et Pologne) avaient formellement et officiellement défini ce qu'ils entendaient par « ressources » dans leurs politiques. Nombreux sont les pays qui ont dit avoir des difficultés à interpréter la notion d'« utilisation efficace des ressources » et à l'articuler à l'« économie verte ». Les autres ont mis en place des stratégies sectorielles généralement sur l'eau, les matières premières, l'énergie et les déchets, avec des approches plus souvent techniques et sur l'offre que basées sur une gestion de la demande note le rapport de l'AEE. La biodiversité ou diversité génétique en tant que ressources semblent plus difficiles à appréhender. Certaines régions ont des stratégies d'efficacité concernant des ressources en voie d'épuisement (matériaux, ressources halieutiques...). L'AEE juge les objectifs trop flous ou peu détaillés (ex. : recyclage des déchets, part d'énergie renouvelable dans la consommation énergétique totale (23% d'énergie renouvelable dans la consommation totale d'énergie en 2020 pour la France), arrêt de la perte de biodiversité). La Suède cherche à réduire son empreinte écologique en réduisant l'impact environnemental de sa consommation globale et les Pays-Bas font de même pour le secteur des importations (important en matière d'énergie grise et autres impacts cachés délocalisés dans l'espace et le temps). L'AEE cite quelques labels comme l'Ange bleu allemand) qui prend en compte la conservation des ressources, le *Cygne* nordique qui évalue l'efficacité de l'usage des ressources ou les objectifs d'affichage environnemental en France.

Les métaux du groupe du platine (catalyseurs) coûtent de plus en plus chers; et selon le Forum Mondial des Matériaux (WMF) réuni mi-2018 à Nancy, l'approvisionnement en cobalt, en tungstène ou même en étain pourrait devenir problématique pour la production de véhicules électriques et le stockage de l'énergie. Le BRGM (Bureau des recherches géologiques et minières) et les cabinets Mc Kinsey et CRU Consulting estiment en 2018 la situation critique pour le cobalt (très demandé pour les batteries et qui pourrait manquer dès 2025-2030, alors que la moitié de la ressource vient de la RD Congo, région politiquement instable. Le vanadium pourrait poser problème si les batteries « redox à flux » sont développées à grande échelle. Le tungstène et l'étain pourraient manquer, mais en raison de sous-investissement du secteur minier, de même pour trois terres rares (dysprosium, néodyme et praséodyme).

II.5. Vision économique

La terre, qui était considérée par les physiocrates comme un facteur essentiel de création de valeur, n'est plus considérée comme un facteur de production par les économistes classiques et néoclassiques, qui ne retiennent comme facteurs de production que le capital et le travail. Jean-Baptiste Say (1767-1832), économiste classique, affirmait ainsi : « *Les richesses naturelles sont inépuisables, car, sans cela, nous ne les obtiendrions pas gratuitement. Ne pouvant être ni multipliées ni épuisées, elles ne sont pas l'objet des sciences économiques* ».

Les matières premières vendues (mais non les ressources exploitées) sont comptabilisées comme consommations intermédiaires dans la comptabilité nationale : ainsi, les ressources naturelles n'ont de valeur, dans le modèle économique occidental, que par la quantité de capital et de travail nécessaire à leur extraction. Les ressources en elles-mêmes n'ont pas de valeur économique. Pour les théories économiques dominantes, tout se passe comme si les ressources naturelles étaient inépuisables.

Or nous savons maintenant que le progrès technique, qui dans les modèles économiques génère une augmentation de la production et de la richesse économique, peut contribuer à détruire le capital naturel. Pour tenter de tenir compte des contraintes environnementales, certains économistes commencent à parler de capital naturel pour les ressources naturelles.

Comme la croissance économique a des effets négatifs sur le stock de ressources naturelles, certains économistes proposent de corriger le produit intérieur brut pour tenir compte de la destruction de richesse naturelle induite par la production, en définissant un PIB vert.

II.6. L'information sur les ressources naturelles

Des informations de marché sur les produits de base (produits agricoles, énergies fossiles, minerais, boissons), sont disponibles sur le site de la Conférence des Nations-Unies sur le commerce et le développement. Ces informations ont été publiées à la demande des pays du sud.

On y trouve la description des produits, des informations sur la qualité, les secteurs d'utilisation, le marché (production), les filières, les sociétés, les techniques, les prix, et les politiques économiques. On n'y trouve pas d'informations sur les réserves des ressources non renouvelables.

Concernant l'énergie, des informations sont disponibles dans l'article ressources et consommation énergétiques mondiales, section ressources énergétiques mondiales.

Un dossier approfondi sur les méthodes de calcul des réserves de pétrole (réserves prouvées, réserves possibles, réserves ultimes) est disponible sur le site de Jean-Marc Jancovici, expert en environnement.

Concernant les réserves pétrolières, les informations officielles de l'OPEP, des compagnies pétrolières, et des gouvernements, ont été contestées par les experts de l'*Association for the Study of Peak Oil and Gas* (ASPO, association pour l'étude du pic pétrolier et gazier), et des sociétés indépendantes, elles-mêmes confirmées par l'Agence internationale de l'énergie, qui prévoyaient le pic pétrolier pour la décennie 2010, voire quelques années plus tôt.

II.7. Ressources naturelles et énergétiques dans le monde

Selon l'ONU, le développement rapide de l'extraction de matériaux est le principal responsable des changements climatiques et de la pression sur la biodiversité. L'extraction mondiale annuelle de matériaux est passée de 27 milliards de tonnes dans les années 1970 à 92 milliards de tonnes en 2017, ce chiffre pourrait plus que doubler avant 2060.

L'activité minière a d'abord concerné l'Europe et l'Amérique du Nord. Depuis la fin du XX^e siècle elle s'étend très rapidement en Asie (plus de 60% des matières premières minérales primaires en proviennent en 2017). L'extraction devrait aussi beaucoup se développer en Afrique en 2020-2030. Elle contribue au développement des pays émergents mais non sans conséquences environnementales (destruction de ressources lentement ou non renouvelables, pertes d'habitats et de biodiversité, perte de foncier, effets négatifs sur le climat, dégradation des puits de carbone et des flux et cycles biogéochimiques).

Selon un article paru dans la revue Science mi-2018 « *Atténuer l'impact de l'utilisation des matériaux est urgent et complexe, nécessite une évaluation proactive des conséquences imprévues, et nécessite des approches systématiques multidisciplinaires* ». Le recyclage et l'économie des matériaux sont des enjeux importants de soutenabilité du développement.

En 2017, 8% de la consommation énergétique mondiale totale a été consacrée à la production primaire de métaux. Comme pour le gaz et le pétrole, cette consommation d'énergie devrait augmenter au fur et à mesure de l'épuisement des ressources car les gisements les plus faciles à exploiter l'ont déjà été. A cette date, un nord-américain moyen consommait 30 tonnes de

matériau par habitant, contre 21 tonnes pour un européen, et moins de 10 tonnes ailleurs. Ainsi, bien avant d'être utilisés, les matériaux minéraux et métalliques et carburants ont déjà généré des impacts via leur raffinage, leur fabrication et leur transport (surtout à cause de l'énergie qu'ils ont nécessité). Des matériaux comme le ciment libèrent aussi du CO₂ lors de leur fabrication (calcination du calcaire : 50 % des émissions liées à la production de ciment, le reste étant dû à la consommation d'électricité et/ou de carburants). D'autres émissions toxiques ou écotoxiques libérées dans l'air, l'eau ou les sols dégradent notre santé et celle des écosystèmes. Hormis l'or et quelques autres cas, les métaux se corrodent ensuite en polluant l'environnement, dont par lixiviation ou lors de l'incinération.

Les polymères (plastiques, caoutchoucs, silicones...) sont plus légers que les métaux, mais sont en forte croissance et sont devenus une part majeure des flux de déchets, et souvent très persistants dans l'environnement, générant des microparticules s'accumulant dans les milieux et l'alimentation. Enrichis en colorants et divers additifs, ils sont souvent difficiles à recycler.

Selon l'ONU « l'extraction et le traitement des matériaux, des combustibles et des aliments représentent de 90% du stress hydrique et des impacts sur la biodiversité ». En 2010, les changements dans l'utilisation des sols ont entraîné une perte d'espèces globales d'environ 11%.

II.7.1. Consommation énergétique mondiale

Les **réserves mondiales** prouvées d'**énergie** non renouvelable (combustibles fossiles et énergie nucléaire) pouvaient être estimées en 2018, selon BP et WNA, à 1 120 milliards de tonnes d'équivalent pétrole (tep), soit 91 ans de production au rythme actuel. Cette durée est très variable selon le type d'énergie : 50 ans pour le pétrole, 51 ans pour le gaz naturel, 132 ans pour le charbon, 90 ans pour l'uranium avec les techniques actuelles. La durée potentielle d'utilisation de l'énergie nucléaire pourrait se compter en siècles grâce aux filières de surgénération et en millénaires avec celle de fusion nucléaire, et le potentiel exploitable de l'énergie solaire est estimé à vingt fois la consommation mondiale annuelle.

La production mondiale d'énergie commercialisée était en 2018, selon BP, de 13 865 Mtep, en progression de 18,5% depuis 2008. Elle se répartissait en 32,3% de pétrole, 28,3% de charbon, 24,0% de gaz naturel, 4,4% de nucléaire et 11,5% d'énergies renouvelables (hydroélectricité 6,8%, éolien 2,1%, biomasse et géothermie 1,0%, solaire 0,95%, agrocarburants 0,6%). Cette statistique ne prend pas en compte les énergies auto-consommées (bois, pompes à chaleur, solaire thermique, etc.), qui selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE) représentaient 8,5% en 2017. Au total, la part des énergies renouvelables dans la production d'énergie mondiale est donc d'environ 20%.

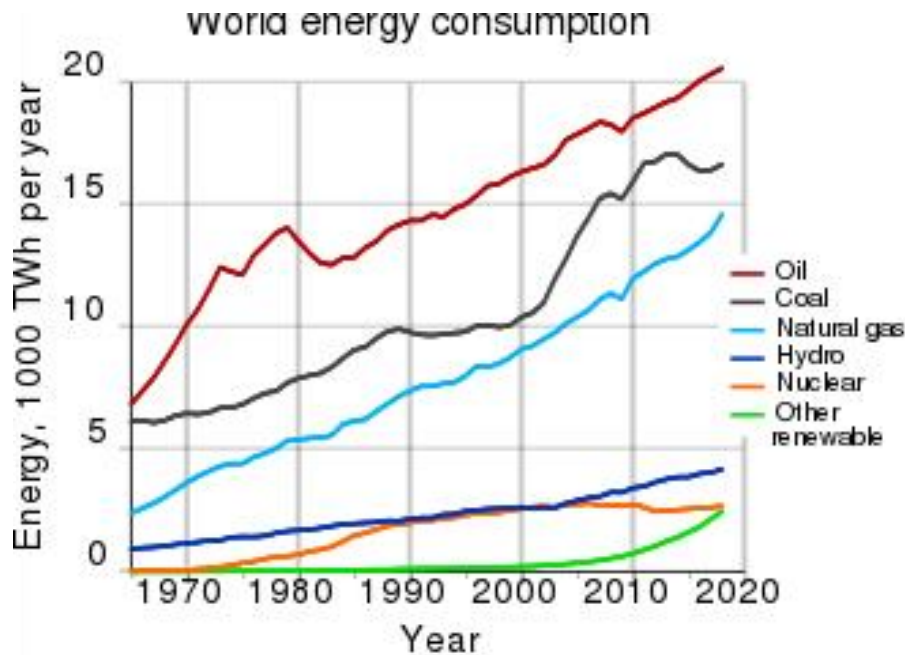
Depuis la révolution industrielle, la **consommation d'énergie** n'a cessé d'augmenter. Elle a progressé de 109% en 44 ans, de 1973 à 2017 (consommation finale). La consommation finale

énergétique mondiale s'élevait en 2017, selon l'Agence internationale de l'énergie, à 9 717 Mtep, dont 19% sous forme d'électricité ; depuis 1990, elle a progressé un peu plus vite que la population, mais sa répartition par source d'énergie n'a guère évolué : la part des énergies fossiles a reculé de 0,5 points, mais leur domination reste massive : 81,8% ; la part des énergies renouvelables (EnR) n'a progressé que de 0,8 points, passant de 15,5% en 1990 à 16,3% en 2017, car le recul de la part de la biomasse compense en partie la progression des autres EnR. Sa répartition par secteur était : industrie 29%, transports 29%, résidentiel 21%, tertiaire 8%, agriculture et pêche 2%, usages non énergétiques (chimie, etc.) 9%.

Au niveau mondial, les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) dues à l'énergie en 2017 sont estimées par l'AIE à 32 840 Mt, en progression de 112% depuis 1973, dont 44,2% produites par le charbon, 34,6 % par le pétrole et 20,5 % par le gaz naturel ; par secteur en 2013, 37% étaient issues de l'industrie, 23% des transports, 17% des ménages (logements) et 15 % des services et de l'agriculture. Les émissions de CO₂ par habitant en 2017 sont estimées à 4,37 tonnes dans le monde, 14,61 tonnes aux États-Unis, 8,70 tonnes en Allemagne, 4,56 tonnes en France, 6,68 tonnes en Chine, 1,61 tonne en Inde et 0,94 tonne en Afrique.

Dans le cadre des négociations internationales sur le climat, tous les pays se sont engagés à maintenir la hausse des températures en deçà de +2°C par rapport à l'ère préindustrielle. Pour aboutir à ce résultat, il faut globalement s'abstenir d'extraire un tiers des réserves de pétrole, la moitié des réserves de gaz et plus de 80% du charbon disponibles dans le sous-sol mondial, d'ici à 2050. Selon l'AIE, les engagements individuels des pays à la Conférence de Paris de 2015 sur les changements climatiques (COP 21) sont largement insuffisants : ils ne feraient que ralentir la progression des émissions de CO₂ et mèneraient à une hausse des températures de +2,7 °C en 2100.

Figure 1 : Evolution de la consommation d'énergie de 1970 à 2020



Consommation énergétique mondiale en térawatts-heures (Twh) de 1965 à 2018 (pétrole, charbon, gaz naturel, hydraulique, nucléaire, autres renouvelables).

II.7.2. Unités de mesure

L'unité officielle d'énergie est le joule ; dérivée du Système international d'unités (SI), cette unité correspond au travail effectué par une force d'un Newton sur un mètre.

Par la force de l'habitude, la plupart des statisticiens continuent à utiliser la tonne d'équivalent pétrole (tep) et plus souvent son multiple, le million de tonnes d'équivalent pétrole (Mtep), le pétrole étant la source d'énergie la plus utilisée dans le monde. Cependant certains (surtout dans les pays d'Europe du Nord) prennent l'habitude d'utiliser des multiples de l'unité officielle et il n'est pas rare de trouver des péta voire des yotta-joules (péta et yotta sont des préfixes du Système international d'unités) pour mesurer l'énergie produite à l'échelle du monde.

Chaque type d'énergie possède son unité privilégiée, et c'est pour les agréger ou les comparer que l'on utilise les unités de base que sont le joule et le Mtep ou parfois le kWh, toute énergie primaire étant assez souvent convertie en électricité.

- Pétrole : tonne d'équivalent pétrole (tep)
- Gaz naturel : mètre cube, pied cube ou British thermal unit (btu)
- Charbon : tonne équivalent charbon (tec)
- Électricité : kilowatt-heure (kWh)

La calorie, qui ne fait pas partie du Système international d'unités, est encore utilisée dans le domaine thermique comme unité de chaleur.

II.7.3. De l'énergie primaire à l'énergie finale

Les flux d'énergie, depuis l'extraction minière, de combustibles fossiles ou la production d'énergie nucléaire ou renouvelable (énergie primaire), jusqu'à la consommation par l'utilisateur final (énergie finale), sont retracés par les bilans énergétiques. Les opérations de conversion et transport de l'énergie donnant toujours lieu à des pertes diverses, l'énergie finale est toujours plus faible que l'énergie primaire.

La différence peut être faible pour l'industrie des hydrocarbures par exemple, dont le rendement est dans certains cas proche de 1 (par exemple, pour une tonne brûlée dans un moteur d'automobile, on n'a eu besoin d'extraire qu'à peine plus d'une tonne d'un puits de pétrole saoudien ; ce n'est néanmoins pas le cas pour les gisements offshore profonds, les pétroles lourds, le gaz de schiste voire les bitumes canadiens dont le rendement de production peut être le facteur limitant leur exploitabilité - indépendamment du prix).

En revanche, la différence est très importante si ce carburant est converti en énergie mécanique (puis éventuellement électrique), puisque le rendement de ce processus est au maximum de l'ordre de 40% (p. ex., pour 1 TEP sous forme d'électricité consommée chez soi, le producteur a brûlé 2,5 TEP dans sa centrale à charbon, type de centrale actuellement le plus répandu dans le monde). Dans le cas d'une électricité produite directement (hydroélectricité, photovoltaïque, géothermique...), la conversion en énergie primaire pertinente est fonction du contexte et le coefficient de conversion utilisé doit être indiqué (voir ci-dessous) : pour comptabiliser la production d'une centrale hydroélectrique, on peut convertir directement les kWh en TEP selon l'équivalence physique en énergie $11\,630 \text{ kWh} = 1 \text{ TEP}$; mais si l'on se pose la question « combien de centrales à charbon cette centrale hydroélectrique peut-elle remplacer ? », alors il faut multiplier par 2,5.

II.7.4. Classement des énergies primaires

Au niveau de la production et de la consommation, les différentes formes d'énergie primaire peuvent se classer de la façon suivante :

- Énergies fossiles: Pétrole, Gaz naturel et Charbon
- Énergie nucléaire: Uranium
- Énergies renouvelables (avec un haut potentiel énergétique): Énergie hydroélectrique, énergie éolienne, énergie solaire photovoltaïque, énergies renouvelables thermiques, Biomasse (bois énergie, résidus de bois et de récoltes, biogaz, biocarburants, déchets qui peuvent contenir de la biomasse), géothermie, énergie solaire thermique, énergie thermique récupérée dans l'air, l'eau, le sol, etc. par pompe à chaleur.

II.7.5. Les ressources énergétiques mondiales sont-elles inépuisables ?

Les ressources ou réserves mondiales en énergie peuvent être considérées comme inépuisables si l'on considère que :

- l'énergie solaire reçue *en un jour* par notre planète est environ trente fois supérieure à notre consommation *annuelle* totale, et son potentiel exploitable est estimé à vingt fois la consommation mondiale annuelle ;
- l'énergie nucléaire pourrait devenir quasiment inépuisable si l'on utilisait les filières de surgénération ou de fusion.

Cependant :

- l'énergie solaire est très peu concentrée, ce qui pose des problèmes économiques de rentabilité et d'espace ; de plus, l'irrégularité de sa production pose le problème du stockage de l'énergie ;
- l'énergie nucléaire pose des défis techniques et des problèmes de sûreté et de déchets qui suscitent des oppositions.

Les potentiels énergétiques ne sont pas directement comparables : pour les énergies fossiles et nucléaires, il s'agit de ressources techniquement récupérables et économiquement exploitables, alors que pour les énergies renouvelables (sauf l'hydroélectricité et une part de la biomasse), il n'existe encore aucune estimation globale des ressources économiquement exploitables : les parcs éoliens de nouvelle génération et les fermes solaires de grande taille s'approchent de la compétitivité en coût d'investissement par rapport aux centrales à gaz ou au charbon, mais ne peuvent encore, dans la plupart des cas, être produites que si elles sont subventionnées : selon l'ADEME, les soutiens publics restent nécessaires pour prolonger les baisses de coût, faciliter les investissements ou compenser les défaillances de marché ; les potentiels indiqués ici sont des potentiels théoriques basés sur des considérations uniquement techniques.

Pour le solaire, les réserves indiquées correspondent aux potentiels annuels disponibles sur toute la surface terrestre, alors que pour les autres énergies seules les réserves prouvées et économiquement exploitables sont prises en compte. Bien évidemment, seule une très petite part du potentiel solaire théorique peut être exploitée, car les terres cultivables resteront dédiées à l'agriculture, les océans seraient difficilement exploitables, et les zones proches des pôles ne sont pas économiquement exploitables.

II.7.5. Energies non renouvelables

Tableau 1 : Réserves prouvées de pétrole : 10 principaux pays (en milliards de barils)

Pays	Réserves en 2018	Pourcentage au niveau mondial
Venezuela	303,3	17,5
Arabie Saoudite	297,7	17,2
Canada	167,8	9,7
Iran	155,6	9,0
Irak	147,2	8,5
Russie	106,2	6,1
Koweït	101,5	5,9
Emirats Arabes Unis	97,8	5,7
Etats Unis	61,2	3,5
Libye	48,4	2,8

NB : la forte proportion des réserves du Canada, du Venezuela et des États-Unis résulte de l'intégration des réserves non conventionnelles de sable bitumineux pour les deux premiers, de pétrole de schiste pour le troisième.

Tableau 2 : Réserves prouvées de gaz naturel en 2018 : 10 principaux pays (billions de m3 ou Tm3)

Pays	Réserves en 2018	Pourcentage
Russie	38,9	19,8
Iran	31,9	16,2
Qatar	24,7	12,5
Turkménistan	19,5	9,9
États-Unis	11,9	6,0
Venezuela	6,3	3,2
Chine	6,1	3,1
Arabie Saoudite	5,9	3,0
Emirats Arabes Unis	5,9	3,0
Nigeria	5,3	2,7

Les 4 premiers pays producteurs concentrent 58,4 % des réserves.

Tableau 3 : Réserves prouvées de charbon en 2018 : 10 principaux pays

Pays	Réserves en 2018	Pourcentage
États-Unis	250,2	23,7
Russie	160,4	15,2
Australie	147,4	14,0
Chine	138,8	13,2
Inde	101,4	9,6
Indonésie	37,0	3,5
Allemagne	36,1	3,4
Ukraine	34,4	3,3
Pologne	26,5	2,5
Kazakhstan	25,6	2,4

Les 4 premiers pays concentrent 66,1 % des réserves mondiales de charbon.

Tableau 4 : Réserves prouvées d'uranium (énergie nucléaire) en 2017 : 10 principaux pays

Pays	Réserves en 2017	Pourcentage
1. Australie	1 818	30
2. Kazakhstan	842	14
3. Canada	514	8
4. Russie	486	8
5. Namibie	442	7
6. Afrique du Sud	322	5
7. Chine	290	5
8. Niger	280	5
9. Brésil	277	5
10. Ouzbékistan	139	2

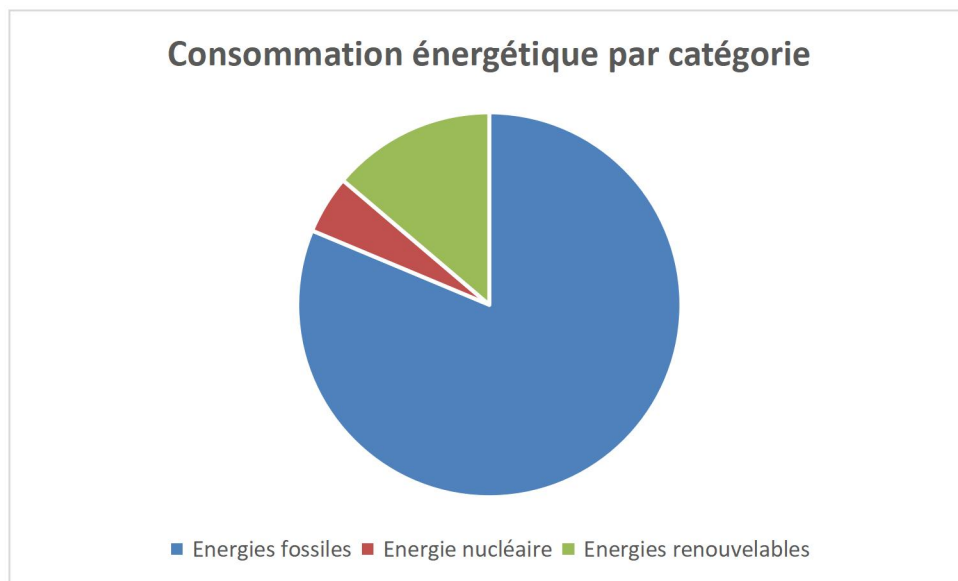
II.7.6. Énergies renouvelables

Les énergies renouvelables sont par définition inépuisables à l'échelle du temps humain. L'évaluation de leur potentiel se fait donc non en termes de réserves, mais en considérant le flux énergétique potentiel que peut fournir chacune de ces sources d'énergies. Comme pour toutes les sources d'énergie, on obtient la quantité d'énergie produite en multipliant le temps de production par la puissance moyenne disponible (puissance maximale pondérée par le facteur de charge). Il est assez difficile de connaître le potentiel de chaque énergie car celui-ci varie selon les sources.

Cependant, le potentiel théorique de l'énergie solaire peut être évalué assez facilement puisque l'on considère que la puissance maximale reçue par la terre (après passage dans l'atmosphère) est

d'environ 1 kW/m². On arrive alors à un potentiel énergétique solaire théorique sur un an de 1 070 000 PWh. Bien entendu, la grande majorité de la surface terrestre est inutilisable pour la production d'énergie solaire, car celle-ci ne doit pas entrer en concurrence avec la photosynthèse nécessaire à la production alimentaire, depuis les échelons les plus modestes des chaînes alimentaires (phytoplancton, végétaux en général) jusqu'à l'agriculture. Les surfaces utilisables pour le solaire se limitent aux déserts, aux toits de bâtiments et autres surfaces déjà stérilisées par l'activité humaine (routes, etc.). Mais il suffirait de couvrir 0,3 % des 40 millions de km² de déserts de la planète de centrales solaires thermiques pour assurer les besoins électriques de la planète en 2009 (environ 18 000 TWh/an).

La production énergétique mondiale (énergie primaire) s'élevait selon l'Agence internationale de l'énergie à 13,97 milliards de tep en 2017 contre 6,1 Mds tep en 1973. Les énergies fossiles représentaient 81,3 % de cette production (charbon : 27,1 %, pétrole : 32,0 %, gaz naturel : 22,2 %) ; le reste de la production d'énergie provenait du nucléaire (4,9 %) et des énergies renouvelables (13,8 %, dont 9,5 % de la biomasse, 2,5 % de l'énergie hydraulique et 1,8 % d'autres EnR); la biomasse comprend le bois énergie, les déchets urbains et agricoles, les agrocarburants ; les autres EnR comprennent l'énergie éolienne, l'énergie solaire, la géothermie, etc. Cette statistique sous-évalue la part des énergies renouvelables électriques (hydroélectricité, éolien, photovoltaïque) : cf. conversion des productions électriques. Avec des conventions différentes, BP donne des estimations plus récentes :



II.7.7. Impacts environnementaux de la consommation d'énergies

Au niveau mondial, les émissions de CO₂ liées à l'énergie ont atteint en 2018, selon les estimations de BP, 33 891 Mt, en hausse de 1,95 % par rapport à 2017 ; elles ont progressé de 12 % depuis 2008 et de 59 % depuis 1990. Les émissions de la Chine ont augmenté de 2,2 % en 2018 et de 1,2 % en 2017 après avoir baissé de 1,3 % entre 2013 et 2016 ; celles des États-Unis ont augmenté de 2,6 % en 2018 après une baisse de 5,4 % entre 2014 et 2017, celles de la Russie ont progressé de 4,2 % et celles de l'Inde de 7 %. En Europe, elles ont reculé de 1,6 % au total, dont 4,8 % en Allemagne, 3,0 % en France, 2,3 % au Royaume-Uni, 2,9 % en Italie.

Les statistiques de l'Agence internationale de l'énergie, moins récentes mais plus précises, s'élevaient pour 2017 à 32 840 Mt, en progression de 112 % depuis 1973. Les émissions de CO₂ par habitant en 2017 étaient estimées à 4,37 tonnes dans le monde, 14,61 tonnes aux États-Unis, 8,70 tonnes en Allemagne, 4,56 tonnes en France, 6,68 tonnes en Chine (surtout dans l'industrie qui produit en grande partie pour les consommateurs américains et européens...), 1,61 tonnes en Inde et 0,94 tonnes en Afrique.

Ces chiffres rendent compte des émissions de chaque pays mais n'intègrent pas les gaz à effet de serre induits par la production des produits importés ou exportés. L'Institut national de la statistique et des études économiques (France) et le ministère français de la Transition écologique et solidaire ont chiffré les émissions totales des Français à 11,1 tonnes de CO₂ par personne en 2012, un chiffre nettement supérieurs à l'émission de gaz à effet de serre par habitant sur le territoire national.

En 2017, ces émissions étaient produites pour 44,2 % par le charbon, 34,6 % par le pétrole, 20,5 % par le gaz naturel et 0,7 % par les déchets non renouvelables ; par secteur en 2013, 47 % étaient issues de l'industrie de l'énergie (surtout lors des transformations : production d'électricité et de chaleur : 42 %, raffinage, etc), 23 % des transports, 19 % de l'industrie, 6 % des logements et 5 % des services et de l'agriculture ; mais après ré-allocation des émissions de la production d'électricité et de chaleur aux secteurs consommateurs, la part de l'industrie passe à 37 %, celle des logements à 17 % et celle des services et de l'agriculture à 15 %.

Dans le cadre des négociations internationales sur le climat, tous les pays se sont engagés à maintenir la hausse des températures en deçà de 2 °C par rapport à l'ère préindustrielle. Or Christophe McGlade et Paul Ekins, chercheurs à l'UCL (University College de Londres), soulignent dans la revue *Nature* que pour aboutir à ce résultat, il faudrait que globalement, les pays s'abstiennent d'extraire un tiers des réserves de pétrole, la moitié des réserves de gaz et plus de 80 % du charbon disponibles dans le sous-sol mondial, d'ici à 2050. Les chercheurs montrent ainsi, pays par pays, que cela concerne l'essentiel des immenses réserves de charbon qui se trouvent en Chine, en Russie, en Inde et aux États-Unis. Au Moyen-Orient, cela suppose d'abandonner l'idée d'extraire 60 % du gaz et de ne pas toucher à environ 260 milliards de barils

de pétrole, l'équivalent de toutes les réserves de l'Arabie saoudite. Il faudrait enfin oublier toute velléité d'exploiter les réserves d'énergies fossiles découvertes en Arctique et s'interdire d'accroître l'exploitation du pétrole non conventionnel (schiste bitumineux, huile de schiste, ...).

L'Agence internationale de l'énergie avait déjà préconisé, en 2012, de laisser dans le sol plus des deux tiers des réserves prouvées de combustibles fossiles, car notre consommation, d'ici à 2050, ne devra pas représenter plus d'un tiers des réserves prouvées de combustibles fossiles afin de ne pas dépasser les 2 °C de réchauffement global maximal d'ici la fin du siècle. Dans une étude de 2009, le Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung démontrait qu'il ne fallait pas émettre plus de 565 gigatonnes de CO₂ d'ici à 2050 pour avoir quatre chances sur cinq de ne pas dépasser la barre fatidique des 2 °C. Or, la combustion de toutes les réserves prouvées de pétrole, charbon et gaz de la planète engendrerait 2 795 gigatonnes de CO₂, soit cinq fois plus. Selon ces données, ce sont donc 80 % des réserves d'énergies fossiles actuelles qui ne doivent pas être extraites.

Pour l'hydroélectricité, l'éolien et le solaire, la conversion en Mtep se fait en « équivalent à la production » en considérant un rendement de 38 %.

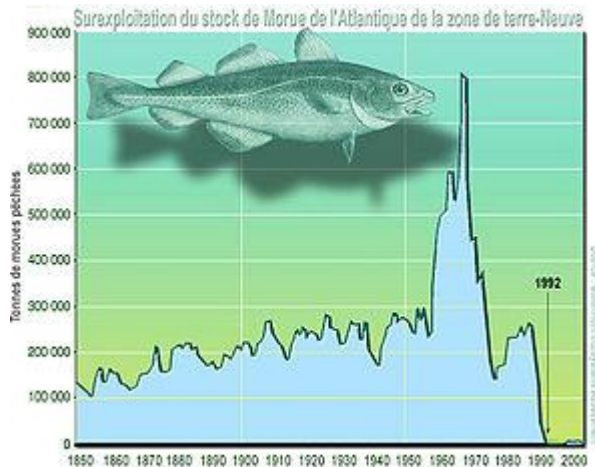
Les combustibles fossiles totalisent 83,8 % du total et les énergies renouvelables 11,0 % ; si les énergies renouvelables thermiques étaient prises en compte, la part des renouvelables serait beaucoup plus importante : ainsi, dans les statistiques mondiales de l'AIE, la catégorie « biomasse et déchets » représente 9,5 % de l'énergie primaire consommée en 2017 ; on peut en déduire qu'au total, les énergies renouvelables couvrent environ 20 % des besoins mondiaux en énergie.

En 2016, pour la première fois, les investissements mondiaux dans le pétrole et le gaz sont tombés en-dessous de ceux dans l'électricité ; ils ont baissé de 38 % entre 2014 et 2016 ; les investissements bas carbone dans la production et le transport d'électricité ont progressé de 6 %, atteignant 43 % des investissements totaux dans l'énergie ; les investissements dans le charbon ont chuté d'un quart en Chine ; les mises en service de centrales charbon ont baissé fortement de 20 GW au niveau mondial, et les décisions d'investissement prises en 2016 sont tombées à 40 GW seulement ; dans le nucléaire, 10 GW ont été mis en service mais seulement 3 GW ont été décidés. Les investissements dans les énergies renouvelables ont reculé de 3 %, mais les mises en service ont progressé en cinq ans de 50 % et la production correspondante de 35 %.

II.7.8. Surexploitation

La **surexploitation** est une notion utilisée en Sciences de l'Environnement et dans l'économie du développement durable pour désigner le stade où un prélèvement de ressources naturelles, difficilement ou coûteusement renouvelables dépasse le stade du *renouvellement*.

- La surpêche est une des formes de la surexploitation des ressources, avec ici, pour exemple, l'effondrement des stocks de morue de l'Atlantique au large de la côte Est de Terre-Neuve en 1992. Dès la fin des années 1950, des chalutiers de fond avaient commencé à exploiter la partie profonde de la zone, conduisant à une forte augmentation des prises. Les quotas de pêche trop tardivement convenus au niveau international au début des années 1970 (à la suite de la déclaration par le Canada d'une zone exclusive de pêche en 1977) ont finalement échoué à arrêter et inverser le déclin de ce stock halieutique.



- La surprédation a souvent des effets en cascade : par exemple, l'Aigle géant de Haast, prédateur naturel des moas de Nouvelle-Zélande a disparu, à la suite de l'extinction des moas chassés intensivement par l'homme.



- L'absence ou le manque de prédateurs naturels peut entraîner une surexploitation du milieu par les herbivores. En forêt, si les prédateurs (loups, ours, lynx...) ont disparu, au-

delà d'un certain seuil, les grands herbivores peuvent nuire à la régénération forestière ou risquer de grandes épidémies (déséquilibre sylvocynégétique).

- La chasse (surchasse) a été une des premières sources de surexploitation de la nature. Le perroquet *Conuropsis carolinensis* qui vivait jusqu'au nord de l'Amérique a ainsi été chassé jusqu'à extinction.



Vaches en liberté sur le pré communal de Selsley (Gloucestershire, en Angleterre). Dans le passé, les prés communaux ont été localement à l'origine de la « tragédie des biens communs ».



La surexploitation du « *capital nature* » induit une altération des écosystèmes, parfois irréversible aux échelles humaines de temps, avec d'éventuels impacts collatéraux à échelle planétaire (sur le climat en particulier). Les enjeux et solutions passent par une meilleure connaissance des seuils à ne pas dépasser et la restauration de l'équilibre entre prélèvements et conservation.

La surexploitation prend différentes formes, comme la surpêche pour les ressources halieutiques, le surlabourage pour les terres arables, la surchasse pour les ressources animales et le surpâturage pour les ressources végétales.

La prise de conscience du caractère « fini » du capital naturel, de l'interdépendance de ses éléments avec les conditions de vie de l'humanité, le capital financier, semble récente. C'est un des fondements du « développement soutenable » ou des théories de la « décroissance » soutenable ou conviviale.

Histoire et causes

Elles sont anciennes, et pour certaines ressources peuvent remonter au moins à l'antiquité, voire expliquer l'extinction de certaines civilisations (Désertification d'une grande partie de la Mésopotamie, mort de la culture de l'Île de Pâques...). Un prélèvement excessif de ressources peut être local ou global. Il peut être directement exercé par la chasse, la pêche (surpêche) ou la cueillette, ou le bûcheronnage (déforestation, artificialisation des forêts), mais il répond souvent et de plus en plus à une *demande* non locale, localement exacerbée par des phénomènes démographiques et par la mondialisation de l'économie (qui peut toutefois - dans certains cas - également contribuer à mieux géographiquement répartir la pression sur certaines ressources). La surexploitation peut aussi être induite par une pression trop élevée de l'agriculture et de l'élevage (surpâturage) ou encore à des systèmes d'exploitations et de productions industrielles dépassant les capacités de l'écosystème à se restaurer, en altérant alors jusqu'aux cycles biogéochimiques (dans le cas des ressources en dépendant ou le conditionnant).

Les causes de surexploitation des milieux sont nombreuses et varient selon les époques et contextes. Ce sont notamment :

- le manque de réflexion prospective, de précaution, de perspicacité ou de connaissance des seuils au-delà desquels la ressource ne peut plus se renouveler ;
- certains facteurs démographiques, dit de « *surpopulation* » ;
- les guerres, la pauvreté, les famines (parfois elles-mêmes engendrées par une surexploitation des ressources), qui engendrent un défaut de limitations sociales ou culturelles de l'exploitation ;
- absence d'autocontrôle, de contrôle ou d'encadrement législatifs (cas de certains quotas de pêche) ;
- course au profit à court terme, dans un contexte très concurrentiel qui peut favoriser le pillage et le gaspillage de ressources ;
- manque de ressources spatiales;
- l'absence d'éthique ou de sens de la responsabilité environnementale et intergénérationnelle.

Pour ce concerne la période contemporaine, force est de constater que le programme d'aide au pays « sous-développés » annoncé par Harry Truman en 1949, qui prévoyait comme bénéfice une « meilleure utilisation des ressources mondiales humaines et sociales », a plutôt abouti à une surexploitation qu'à des économies de ressources.

Parmi les exemples historiques de surexploitation figurent la chasse à la baleine qui a abouti à une raréfaction des baleines au XIX^e siècle après un pic vers 1845, ou encore la chasse au bison dans les grandes plaines des États-Unis qui a abouti à l'extermination de millions de bisons.

Conséquences de la surexploitation

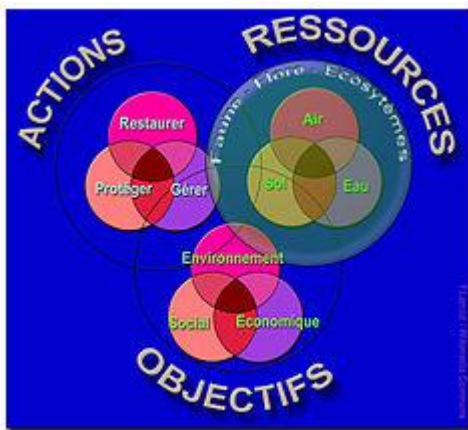
La surexploitation peut concerner tout ou une partie de l'Environnement (les écosystèmes, les eaux souterraines, le sous-sol, etc.) ou un compartiment particulier de l'environnement (la mer par exemple avec la surpêche ou la surexploitation d'algues), et peut conduire à différentes conséquences dommageables :

- menaces sur les espèces végétales, animales, fongiques et microbiennes, et atteinte générale ou locale à la biodiversité ;
- raréfaction puis disparition éventuelle de ressources non renouvelables, éventuellement nécessaires à la survie de populations autochtones humaines ;
- dégradation des équilibres naturels ;
- perte de service écosystémiques et d'aménités, qui ont fait l'objet d'une première évaluation par l'ONU via le Millennium Ecosystems Assessment (travail effectué par plus de 3000 chercheurs dans le monde entier).

Les conséquences sont également sociales (appauvrissement des populations dépendantes des ressources naturelles), et géopolitiques et géostratégiques (des populations ayant épuisé leur propre capital naturel, peuvent tendre à envahir, et éventuellement surexploiter d'autres territoires dans des processus de guerre ou d'expansion coloniale).

III. Le Développement Durable

Diagramme du développement durable : une approche globale à la confluence de trois préoccupations, dites « les trois piliers du développement durable ».



Pour atteindre les objectifs du **développement soutenable**, il faut notamment faire appel à des **ressources naturelles**, minérales et vivantes qu'on peut selon leur vulnérabilité classer en « pas, peu, difficilement, coûteusement ou lentement renouvelables ». Les aménageurs et gestionnaires peuvent alors chercher à les restaurer, les protéger et les économiser, et le cas échéant à **compenser ses impacts**.



La « théorie du baquet » rappelle **métaphoriquement** que dans les **systèmes complexes**, quand on considère les sous-ensembles vitaux du système (comme les **organes vitaux** d'un **organisme**), ils sont tous importants. Il ne sert à rien d'avoir un niveau d'excellence sur l'un des piliers (l'économie p.e.) si un autre élément (le social ou l'environnement) est dégradé, car le niveau de performance ou de qualité de l'ensemble est ici contrôlé par la « planche la plus faible du baquet »

Le **développement durable** (anglais : *sustainable development* qui peut aussi être traduit en français par **développement soutenable**) est une conception du **bien commun** développée depuis la fin du XX^e siècle. Considérée à l'échelle de la **planète**, cette notion vise à prendre en compte, outre l'économie, les **aspects environnementaux et sociaux** qui sont liés à des enjeux de **long terme**. Selon la définition donnée dans le **rapport Brundtland** en **1987**, le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des **générations futures** à répondre à leurs propres besoins.

III.1. Définition

Pour l'**AFNOR** en 2012, un état est dit « durable » si « les composantes de l'**écosystème** et leurs fonctions sont préservées pour les générations présentes et **futures** ». Dans cette définition, « les composantes de l'écosystème incluent, outre les êtres humains et leur environnement physique, les plantes et les animaux. Pour les **êtres humains**, le **concept** sous-entend un équilibre dans la satisfaction des besoins essentiels : conditions économiques, environnementales, sociales et culturelles d'existence au sein d'une société. ».



La ressource naturelle qu'est le **vent** alimente cette **éolienne** de 5 MW dans un **parc éolien** à 28 km au large de la Belgique.

Le concept de durabilité a été défini quelques années auparavant. En 1991 et 1993, **Ignacy Sachs** définit l'écodéveloppement comme « développement endogène et dépendant de ses propres forces, soumis à la logique des besoins de la population entière, conscient de sa dimension écologique et recherchant une harmonie entre l'homme et la nature ». En 1987, la *Commission mondiale sur l'environnement et le développement* dans le **rapport Brundtland** lui avait préféré la notion de « *développement soutenable* », défini comme suit :

« Le développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins. Deux concepts sont inhérents à cette notion:

- le concept de « **besoins** », et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité ;
- l'idée des limitations que l'état de nos **techniques** et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'**environnement** à répondre aux besoins actuels et à venir. »

Parmi les besoins essentiels, on retiendra les besoins indispensables à l'être humain en tant qu'élément de base vivant dans un environnement défini, que l'on appelle les **besoins primaires** ou physiologiques. Et parmi ceux-ci, on notera le **besoin de se reproduire** qui établit pour l'homme et la femme une **filiation**, et assure de la sorte le **renouvellement des générations**.

Face à la **crise écologique** et **sociale** qui se manifeste désormais de manière mondialisée (**changement climatique**, raréfaction des **ressources naturelles**, **pénuries d'eau douce**, rapprochement du **pic pétrolier**, écarts entre **pays développés** et **pays en développement**, **sécurité alimentaire**, **déforestation** et perte drastique de **biodiversité**, croissance de la **population mondiale**, **catastrophes naturelles** et industrielles), le développement durable est une réponse de tous les acteurs (**États**, acteurs économiques, **société civile**), culturels et **sociaux** du développement.

Il s'agit aussi, en s'appuyant sur de nouvelles valeurs universelles (**responsabilité**, participation écologique et partage, principe de précaution, débat...) d'affirmer une approche double :

- dans le **temps** : nous avons le **droit** d'utiliser les ressources de la Terre, mais le **devoir** d'en assurer la pérennité pour les **générations futures** ;
- dans l'**espace** : chaque humain a le même droit aux **ressources naturelles** de la Terre (**principe de destination universelle des biens**).

Tous les secteurs d'activité sont concernés par le développement durable : l'**agriculture**, l'**industrie**, l'**habitation**, l'organisation familiale, mais aussi les **services (finance, tourisme...)** qui, contrairement à une opinion répandue, ne sont pas qu'**immatériels**. Plus simplement, le développement durable est un mode de développement qui a pour but de produire des richesses tout en veillant à réduire les inégalités mais sans pour autant dégrader l'environnement.

III.2. Enjeux et objectifs du développement durable

III.2.1. Crise écologique et sociale

Déforestation de la **forêt humide** à Rio de Janeiro pour l'extraction d'**argile** pour le **Génie civil**.

La **révolution industrielle** du XIX^e siècle introduit des critères de croissance essentiellement **économiques**, principal critère aisément mesurable : ainsi le **produit intérieur brut** dont l'origine remonte aux années 1930 est souvent vu comme l'indicateur de la richesse d'un pays. Des corrections ont été apportées dans la deuxième moitié du XX^e siècle sur le plan social, avec d'importantes avancées sociales. L'expression « économique et social » fait depuis partie du vocabulaire courant.

Mais les **pays développés** ont pris conscience depuis les **chocs pétroliers** de 1973 et 1979 que leur prospérité matérielle était basée sur l'utilisation intensive de **ressources naturelles** finies, et que par conséquent, outre l'économique et le social, un troisième aspect avait été négligé :

l'environnement. Pour certains analystes, le modèle de développement industriel n'est pas viable ou soutenable sur le plan environnemental, car il ne permet pas un « développement » qui puisse durer. Les points cruciaux en faveur de cette affirmation sont l'épuisement des ressources naturelles (**matières premières, énergies fossiles** pour les humains), la **pénurie des ressources en eaux douces** susceptible d'affecter l'**agriculture**, la destruction et la **fragmentation** des **écosystèmes**, notamment la **déforestation** qui se manifeste par la destruction des **forêts tropicales** (**forêt amazonienne, forêt du bassin du Congo, forêt indonésienne**), ainsi que la diminution de la **biodiversité** qui diminuent la **résilience de la planète** ou encore le **changement climatique** dû aux émissions de **gaz à effet de serre** et de manière générale la pollution due aux activités humaines. Les **catastrophes industrielles** de ces trente dernières années (**Seveso (1976), Bhopal (1984), Tchernobyl (1986), Exxon Valdez (1989)**, etc.) ont interpellé l'opinion publique et les associations telles que le **WWF, les Amis de la Terre** ou encore **Greenpeace** (Voir aussi **Chronologie de l'écologisme**). En faisant le pari du « tout technologique » dans l'optimisation de la consommation énergétique et la lutte contre le changement climatique, notre civilisation recourt de façon accrue aux **métaux** que nous ne savons pas bien recycler. La déplétion de ces ressources pourrait devenir un enjeu mondial au même titre que la déplétion du pétrole.

Au problème de viabilité subsiste une pensée humaine à adapter. Ce qui s'ajoute à un problème d'équité : les pauvres subissent le plus la crise écologique et climatique, et il est à craindre que le souhait de croissance des **pays sous-développés** (souvent appelés pays du Sud) vers un état de prospérité similaire, édifié sur des principes équivalents, n'implique une dégradation encore plus importante et accélérée de l'habitat humain et peut-être de la **biosphère**. Ainsi, si tous les États de la planète adoptaient l'*American Way Of Life* (qui consomme près de 25 % des ressources de la Terre pour 5 % de la population) il faudrait 5 ou 6 planètes pour subvenir aux besoins de tous selon l'association écologiste **WWF**.

Le développement actuel étant consommateur de **ressources non renouvelables** et considéré par ces critiques comme très gourmand en ressources compte tenu de la priorité donnée aux **objectifs patrimoniaux à courte vue**, tels que la **rentabilité des capitaux propres**, voire inéquitable, une réflexion a été menée autour d'un nouveau mode de développement, appelé « développement durable ».

III.2.2. Responsabilité à l'égard des générations futures

C'est le philosophe allemand **Hans Jonas** qui a le premier théorisé la notion de développement durable dans *Le Principe responsabilité* (1979). Selon lui, il y a une obligation d'existence des générations futures, qui pourrait être remise en cause par la forme qu'a prise le développement technique à l'époque contemporaine. Il s'agit donc pour les générations présentes de veiller, non aux droits des générations futures, mais à leur *obligation* d'existence. Veiller à l'obligation des générations futures d'être une humanité véritable est *notre* obligation

fondamentale à l'égard de l'avenir de l'humanité, dont dérivent seulement toutes les autres obligations à l'égard des hommes à venir. Le problème du développement durable ne se pose donc pas sous l'angle des droits, mais des **obligations** et des **devoirs**.

Une nouvelle démarche : « agir local, penser global »



La Bille bleue : la photographie de la **Terre** prise par l'équipage d'**Apollo 17** lors de leur voyage vers la Lune fait prendre conscience aux humains que la planète est fragile et doit être protégée.

Les aspects essentiels du développement durable, sur les capacités de la **planète** et les inégalités d'accès aux **ressources** posent des questions **philosophiques** et **éthiques**.

Hans Jonas avança l'idée selon laquelle le modèle économique de l'Occident pourrait ne pas être viable sur le long terme s'il ne devenait pas plus respectueux de l'environnement. En effet Jonas posa l'idée d'un devoir vis-à-vis des êtres à venir, des vies potentielles et « vulnérables » que nous menaçons et il donne à l'homme une **responsabilité**. Depuis, l'un des thèmes de la philosophie qui interpelle le plus nos contemporains est celui de la **philosophie de la nature**, qui interroge sur la place de l'homme dans la **nature**. Ainsi, en 1987, **Michel Serres** décrit l'homme comme signataire d'un contrat avec la nature, reconnaissant les devoirs de l'humanité envers celle-ci. À l'inverse, le philosophe **Luc Ferry** souligne, dans *Le Nouvel Ordre écologique*, que l'homme ne peut pas passer de contrat avec la nature et estime que cette vision qui consiste à donner des droits à la nature participe d'une opposition radicale à l'**Occident**, de nature révolutionnaire et non-réformiste, doublée d'un anti-humanisme prononcé.

Jean Bastaire voit l'origine de la crise écologique chez **Descartes** selon qui l'homme devait se « rendre comme maître et possesseur de la nature ». Au contraire, la géographe **Sylvie Brunel** critique le développement durable, car elle y voit une conception de l'homme comme un parasite, et la **nature** comme un idéal. Or, pour elle, l'homme est souvent celui qui protège la **biodiversité**,

là où la nature est le règne de la loi du plus fort, dans lequel « tout milieu naturel livré à lui-même est colonisé par des espèces invasives ».

Sans en aborder tous les aspects philosophiques, le développement durable comporte également des **enjeux** très importants en matière d'**éthique des affaires**. **André Comte-Sponville** entre autres, aborde les questions d'**éthique** dans *Le capitalisme est-il moral ?* **Paul Ricœur** et **Emmanuel Lévinas** le firent aussi sous l'angle de l'**altérité** et **Patrick Viveret** et **Jean-Baptiste de Foucauld** sur celui de la **justice sociale**.

Le philosophe français **Michel Foucault** aborde ces questions sur le plan **épistémologique**. Il parle de changements de conception du monde, qui se produisent à différentes époques de l'Histoire. Il appelle ces conceptions du monde, avec les **représentations** qui les accompagnent, des **épistémès**. Selon certains experts, le développement durable correspondrait à un nouveau **paradigme** scientifique, au sens que **Thomas Kuhn** donne à ce terme.

La formule « agir local, penser global », employée par **René Dubos** au sommet sur l'environnement de 1972, est souvent invoquée dans les problématiques de développement durable. Elle montre que la prise en compte des enjeux environnementaux et sociaux nécessite de nouvelles heuristiques, qui intègrent le caractère global du développement durable. Elle fait penser à la philosophie de **Pascal**, plutôt qu'à celle de **Descartes**, celle-ci étant davantage analytique. En pratique, elle devrait se traduire par des approches systémiques.

L'expert américain **Lester Brown** affirme que nous avons besoin d'un bouleversement analogue à celui de la **révolution copernicienne** dans notre **conception du monde**, dans la manière dont nous envisageons la relation entre la **planète** et l'économie : « cette fois-ci, la question n'est pas de savoir quelle sphère céleste tourne autour de l'autre, mais de décider si l'environnement est une partie de l'économie ou l'**économie** une partie de l'**environnement** ».

Le philosophe français **Dominique Bourg** estime que la prise de conscience de la **finitude écologique de la Terre** a entraîné dans nos **représentations** un changement radical de la relation entre l'universel et le singulier, et remet en cause le **paradigme moderne** classique du fait que dans l'univers systémique de l'**écologie**, la **biosphère** (le planétaire) et les **biotopes** (le local) sont interdépendants.

Depuis quelques décennies, les ONG environnementales et des leaders d'opinion comme **Nicolas Hulot** ont sensibilisé l'**opinion publique** sur les enjeux de l'**environnement** et du développement durable.

IV. Économie de l'environnement

L'**économie de l'environnement** est une branche de l'économie qui traite d'un point de vue théorique des relations économiques entre les sociétés humaines et l'environnement. Elle constitue un champ voisin, mais distinct, de l'économie écologique.

IV.1. Contexte et approche économique

L'émergence du concept

De l'effet de serre au recul de la biodiversité en passant par la pollution sous ses formes multiples, la question environnementale a aujourd'hui totalement investi le champ de la discipline économique. Cette révolution culturelle débute dans les années 1970 avec la prise de conscience écologique qui suit la médiatisation des premières grandes pollutions.

Les économies mondiales prennent progressivement la mesure du *coût* environnemental de l'exploitation des ressources et de la croissance associée au PIB : il s'agit d'une mutation profonde de la perception de l'environnement jusqu'alors peu concernée par les impacts environnementaux. L'environnement biophysique par le biais des sciences de l'écologie et de l'activité terrestre est associé à des systèmes et des cycles dans l'habitat. Ceux-ci indiquent des seuils et des limites tant en approvisionnement (surexploitation des ressources naturelles comme le pétrole ou les réserves halieutiques) qu'en débouchés (pollution des nappes phréatiques, par exemple). Des modèles de croissance économique, en tant que conséquence de l'activité humaine, ont manifestement un impact négatif démontré sur l'environnement.

Cette prise de conscience est récente dans les cultures modernes. L'étymologie du terme *économie* (de *oikos*, la maison et de *nomos*, la règle) témoigne d'une volonté de gestion efficace de la *maison*, c'est-à-dire l'habitat dans la biosphère, et renvoie à celle de l'écologie (de *oikos*, la maison et de *logos*, l'étude). Si la pensée des Physiocrates ou des classiques liait sans ambiguïté l'économie à la rareté des ressources naturelles, la théorie néo-classique n'a retenu de la rareté que sa dimension financière et a occulté son possible épuisement. Ainsi la première véritable rencontre de l'économie et de l'écologie (constituée en science) intervient probablement en 1968 au sein du rapport du Cercle de Rome, intitulé Les limites de la croissance. Ce texte alarmiste sur les limites des réserves énergétiques marque la redécouverte du concept environnement par la théorie néo-classique.

Sans entrer dans une étude approfondie et certainement philosophique des rapports entre l'Homme et la nature, on peut noter une évolution culturelle qui passe d'une totale dépendance de l'Homme à la nature, par les fruits et la crainte des aléas climatiques pour les tribus de chasseurs-cueilleurs, à l'*apparente* indépendance de l'homme moderne par l'exploitation des ressources naturelles. Ce dernier a longtemps cru pouvoir totalement s'affranchir de son milieu en le

transformant, en le domestiquant, voire en l'asservissant, grâce au développement d'idéologies, grâce aux progrès techniques. Descartes affirmait ainsi que les hommes pouvaient se rendre « comme maîtres et possesseurs de la nature ».

De ce point de vue, l'environnement devient ce qui est autour et nécessaire à l'humain, ce qui lui est étranger et par un glissement de sens ce sur quoi l'homme ne peut agir. Comme nous l'avons vu, il est faux de croire que l'activité humaine n'interagit pas avec l'environnement : source et débouché de l'activité économique, la nature existe avec l'espèce humaine et non pas malgré l'homme. En s'excluant de la nature, l'humain fausse sa perception, sa pensée, ses valeurs, son rôle, son analyse de la situation et perturbe profondément l'habitat.

L'objectif de l'économie de l'environnement

C'est dans cette perspective particulière de l'évolution de la culture de l'espèce que s'est élaborée cette expression que certains qualifient d'oxymore voire d'absurdité : l'économie de l'environnement. Son objectif est d'intégrer les valeurs écologiques de l'environnement dans le cadre particulier de l'économie et plus précisément des sciences économiques et sociales. Ce que les économistes néo-classiques avaient rejeté hors de leur champ de vision, probablement inconsciemment, l'économie de l'environnement cherche à l'inclure.

L'économie de l'environnement est la recherche d'une efficacité nouvelle et réelle qui intègre les interactions entre les intervenants mais aussi entre les interventions humaines et l'environnement (au sens large). Cette nouvelle orientation n'est pas exclusive de l'ancienne vision économique : il s'agit au contraire de bâtir avec l'économie traditionnelle un édifice qui tienne compte de la valeur écologique et des variables environnementales.

Cette évolution n'est pas neutre : elle suppose un certain nombre d'hypothèses de base et surtout elle nécessite de redéfinir des notions centrales de l'économie : le bien-être des individus, la production et l'utilisation des ressources. Dans l'économie néo-classique, le bien-être tient compte de la consommation de biens marchands. En économie de l'environnement, il faut y ajouter la valeur que les individus confèrent à leur environnement dans un cadre de vie, et finalement sa valeur réelle et symbolique, souvent impossible à monétiser. La production et l'utilisation globale des ressources biotiques et abiotiques est aussi une corrélation à inclure dans l'évolution de l'architecture économique bâtie.

IV.2. Théorie économique et environnement

L'économie, du moins sa version néo-classique, s'intéresse aux *optima* (ou optimums), c'est-à-dire la meilleure allocation des ressources rares à usages alternatifs, compte tenu des préférences des agents économiques, résumées dans une fonction d'utilité. Par exemple, l'optimum de Pareto est certainement l'un des outils les plus utilisés de la science économique : une situation optimale

au sens de Pareto est telle que toute amélioration du bien-être d'un individu (ou d'une catégorie d'individus) ne peut être obtenue qu'au détriment d'un autre individu (ou d'une autre catégorie d'individus). C'est une situation de référence de la théorie économique, dans la mesure où, selon le premier théorème de l'économie du bien-être, tout équilibre concurrentiel est un optimum de Pareto : il n'y a pas de justification à l'intervention des pouvoirs publics dans l'économie, à condition de respecter le caractère concurrentiel des marchés et de laisser le système de prix opérer les ajustements. Ceci n'est cependant vrai qu'en l'absence de toute défaillance de marché.

Pourtant l'équilibre marchand n'est pas nécessairement optimal d'un point de vue social ou environnemental. La recherche de l'optimum se déroulant dans le cadre strict des échanges marchands, certains effets qui ne sont pas affectés d'une valeur, sont complètement écartés de la recherche d'efficacité alors même qu'ils sont susceptibles d'affecter l'utilité des agents économiques. C'est précisément le cas lorsque l'on occulte la dimension particulière que constitue l'environnement : ce sont des effets externes, sous-entendus à l'échange marchand, aussi appelés externalités. Ces externalités peuvent être positives et améliorer le bien-être des agents. Mais elles peuvent aussi avoir une valeur négative si elles réduisent le bien-être sans compensation financière (cas des riverains d'un aéroport : ils souffrent de la pollution sonore et de la baisse de la valeur marchande de leurs biens immobiliers si l'aéroport enregistre une croissance du trafic qui génère des revenus d'exploitation supplémentaires). Les externalités constituent des défaillances du marché (sous-entendu défaillances du marché concurrentiel).

Prenons un exemple : une entreprise produit de l'électricité à partir de charbon. Elle fournit son électricité à un certain prix à ses consommateurs. Si elle peut se fournir en charbon à un prix inférieur, elle pourra répercuter cette baisse sur son prix de vente. Or ce charbon est moins cher car il est de moins bonne qualité : il contient une proportion non négligeable du soufre. La combustion de ce charbon de mauvaise qualité, s'il permet une amélioration du bien-être des consommateurs par la réduction du prix, se traduit néanmoins également par une détérioration de la qualité de l'environnement (pluies acides, en l'occurrence) : cette détérioration n'est pas naturellement intégrée à l'échange marchand. Il faut la réintégrer c'est-à-dire internaliser les effets externes, ces derniers créant des inefficacités. En simplifiant la formulation, il est nécessaire d'inclure dans les prix les dégradations environnementales (pollution, sur-exploitation) qui, sinon, seraient ignorées.

Principes fondateurs

La notion même d'optimum dépend de la possibilité d'un choix : qui dois-je intégrer dans ma recherche d'optimum ? qui dois-je défendre et contre quoi ? Comme nous l'avons souligné en introduction, l'économie de l'environnement est intimement liée aux politiques économiques et aux choix qui en découlent. Ces choix doivent se formuler de la façon la plus objective possible et doivent, à ce titre, se fonder sur des principes indéniables. Les choix débouchent sur des résultats. Les résultats sont mesurés par des concepts forgés par l'économie orthodoxe. Par

exemple, l'utilisation du concept de *valeur ajoutée* dans le paradigme classique n'a jamais pris en compte *l'empreinte écologique* que Mokhtar Lakehal définit, dans *Le Grand Livre de l'Économie contemporaine*, comme « l'indicateur censé alerter les États et nations sur un danger : l'appauvrissement accéléré des richesses du sol et du sous-sol. Tous les prélèvements effectués dans la nature par l'homme pour satisfaire ses besoins croissants ne sont pas renouvelés entièrement, pour diverses raisons. En raison du mode de vie occidental qui s'est universalisé, depuis les années soixante-dix, les quantités de ressources prélevées chaque année sont supérieures aux capacités de la nature à se régénérer. Par exemple, certains consommateurs ne savent peut-être pas que sous la pression de la demande mondiale de bois (donc de leurs besoins), le rythme de déboisement des forêts dépasse dangereusement celui du reboisement. Les conséquences sont nombreuses : inondations, coulées de boue, disparitions d'espèces végétales et animales, bouleversement climatique, etc. L'empreinte écologique est en quelque sorte la trace que l'homme laisse dans la nature après chacun de ses passages. Seuls les cyniques ne veulent pas savoir que toute déforestation aura des conséquences et que tout épuisement d'une ressource affectera la structure des prix sur les marchés. « Qu'est-ce qu'un cynique ? C'est un homme qui sait le prix de toute chose, mais qui ne connaît la valeur de rien », disait Oscar Wilde (*L'Éventail de Lady Windermere*) ».

Principe pollueur-payeur

Le principe pollueur-payeur est né en Allemagne et a été adopté par l'OCDE en 1972 comme principe fondateur de l'économie. Ce principe a été amorcé par Arthur Cecil Pigou dans le courant des années 1920. Son but est de déterminer à qui imputer le coût d'une pollution. Sa formulation, sous des couverts d'une naïve évidence, ne doit pas faire oublier qu'il est à la fois difficile à mettre en place et rarement appliqué.

Reprenons l'exemple de la production d'électricité à partir du charbon. Si l'entreprise utilise du charbon de mauvaise qualité, elle va contribuer à la dégradation de la qualité de l'air : c'est à elle que reviendra de payer le coût de la pollution. Toutefois, elle peut reporter ce coût sur les consommateurs, ce qui revient à leur faire endosser la charge de la pollution.

Revenons au principe en lui-même : le principe non-pollueur-payeur a-t-il un sens ? La réponse est malheureusement oui. En effet, au-delà du glissement que nous avons vu dans l'exemple précédent, le principe non-pollueur-payeur revient à dire que celui qui ne veut pas que son environnement soit pollué doit payer pour que le pollueur ne le pollue plus. Cela paraît une formulation très cynique, mais n'oublions pas que c'est précisément le rôle, en France, des Agences de l'Eau : le consommateur final paie une taxe sur l'eau pour permettre aux industries polluantes de moderniser leurs installations. Derrière ce principe apparemment anodin et allant de soi, se dessine une réalité fort complexe.

Évaluation monétaire : la valeur de l'environnement

La notion de valeur est centrale en économie. Affecter une valeur à l'environnement et aux services écosystémiques qu'il rend (qu'on peut dans une certaine mesure chercher à monétariser) est supposé permettre sa meilleure prise en compte dans les équations de choix stratégiques, de mesures compensatoires et conservatoires.

Cette affectation est cependant difficile : quelle valeur (monétaire ou non) donner à une fonction écosystémique telle que la production d'air alors que l'air n'est pas acheté (à la différence de l'eau), quelle valeur donner à une espèce de coléoptère impliqué dans la décomposition du bois mort et la formation de l'humus, et menacée de disparition par la construction d'une autoroute ?

Cette valeur pourrait être soit :

- *infinie* : dans ce cas, un choix peut être de ne pas construire l'autoroute ;
- *nulle* : ici, il faut poursuivre, coûte que coûte, la construction de l'autoroute ;
- *intermédiaire* : le choix final sera déterminé par la confrontation entre la valeur donnée à cette autoroute et celle donnée à cette espèce particulière de scarabée ?

L'attribution d'une valeur à la construction de l'autoroute est relativement facile (combien de personnes vont-elles l'emprunter ? quel est le temps qui va être économisé ?) ; on peut même y inclure une composante environnementale (combien de CO₂ sera économisé en supprimant les bouchons le long de la Route Nationale à proximité ?). On imagine aisément que la valeur économique de l'espèce de scarabée soit moins facile à déterminer. Qui serait prêt à payer pour sauver cette espèce ? Et, surtout combien ? Avec un tel raisonnement, on ne donne pas cher de la peau de ces scarabées face aux sommes mises en jeu... Il faut donc déplacer l'interrogation sur un plan symbolique : sommes-nous prêts à réduire la biodiversité pour la construction d'une autoroute ? Formulé de cette manière, les scarabées ont toutes leurs chances de menacer le projet d'autoroute.

Les économistes distinguent cinq ou six dimensions de la valeur économique totale. Il existe trois types de valeurs d'usage : la valeur d'usage direct, la valeur d'usage indirect et la valeur d'option. Selon les chercheurs, il existe soit deux, soit trois types de valeurs de non-usage. Les deux types consensuels sont la valeur d'existence et la valeur de legs (ou valeur d'héritage). Une partie des économistes prennent aussi en compte la valeur de quasi-option (ou valeur d'option informationnelle).

Comme nous venons de le voir, l'attribution d'une valeur aux composantes environnementales est fondamentale mais complexe. Plusieurs méthodes sont utilisées pour le faire :

- méthode des coûts de transport ou de déplacement : quelle distance sont prêts à parcourir les individus pour profiter d'un paysage, ou d'un objet (les scarabées, par exemple) ? On mesure le coût de transport réellement dépensé par des individus pour venir à tel ou tel endroit.
- méthode des prix hédonistes : on observe les sommes que consacrent les individus pour obtenir tel ou tel avantage environnemental ; cette méthode s'applique surtout sur les biens immobiliers où elle revient à calculer le sur-coût que représente un beau paysage ou un air pur.
- méthode d'évaluation des dépenses de protection : combien sont prêts à payer les individus pour ne plus subir une atteinte environnementale (exemple : coût d'un déménagement pour ne plus subir une pollution, un bruit par exemple) ?
- méthode d'évaluation contingente: à la différence des méthodes précédentes, l'évaluation consiste à questionner plus qu'à observer. Dans les trois méthodes précédentes, on observe le coût de transport, le surcoût environnemental ou les dépenses de protection : ce sont des sommes d'argent que les individus dépensent effectivement. L'évaluation contingente consiste à questionner les individus dans le cadre d'enquête.

PIB vert

Depuis déjà quelques années, les économistes ont pensé à un PIB vert. Par ce dernier, on entend une mesure qui soustrait du PIB conventionnel la baisse du stock de ressources naturelles. Une telle méthode de comptabilisation permettrait de mieux savoir si une activité économique accroît ou fait baisser la richesse nationale lorsqu'elle utilise des ressources naturelles. Cependant, les économistes estiment qu'il serait difficile, sans doute, pour mettre sur pied ce nouvel indicateur.

Et pourtant, des tentatives de formulation d'un nouvel indicateur ont été faites. Mokhtar Lakehal nous propose cette définition : Produit intérieur brut vert (PIB vert ou PIB écologique) est un agrégat tenant compte de la destruction des ressources non renouvelables. Par exemple, dans le « Système de comptes économiques et environnementaux intégrés » proposé par Peter Bertelmus Jan van Tongeren (Bureau statistique de l'ONU) et Carsten Stahmer (Bureau statistique fédéral allemand), les auteurs prennent en compte l'utilisation des ressources non renouvelables (minéraux, pétrole, gaz naturel...), les atteintes aux sources de biens renouvelables (sols, forêts, lacs...), les pollutions (air, eau) ainsi que toutes les activités de production et de remise en état de l'environnement. Cette démarche débouche sur la construction d'un Produit intérieur brut écologique. Les auteurs ont abouti à l'estimation suivante : ce PIB écologique représente 69 % du PIB, et seulement 51 % du PIB du secteur agricole et 48 % pour celui des mines. Le rapport valeur ajoutée/capital engagé passe de 25 % à 7 % seulement pour toute l'économie, de 20 à 4 % pour l'agriculture et de 73 % à 5 % pour les mines. « Integrated Environmental and Economic Accounting Framework for a SNA Satellite System ». Review of Income and Wealth, juin 1991 (*Le Grand Livre de l'Économie contemporaine*).

Outils de l'économie de l'environnement

1° L'exemple du protocole de Kyoto

Le protocole de Kyoto est une illustration caractéristique du rôle de l'économie de l'environnement : il s'agit en effet de concilier le développement économique avec les contraintes environnementales. La rédaction du protocole a fait intervenir un ensemble de spécialistes de différents champs disciplinaires : des météorologues, des industriels, des juristes, etc. Et il a fallu concilier l'ensemble des visions. À partir des données scientifiques (l'impact d'une tonne de CO₂ relâché dans l'air) et des données économiques (impact sur la croissance), dans un cadre juridique donné (un accord international), l'économie de l'environnement cherche à définir une situation optimale (optimum de pollution) à atteindre et à bâtir un certain nombre d'outils qui permettront d'atteindre cet objectif.

L'optimum de pollution ainsi défini sera, par définition, éloigné de deux autres positions : de celle des partisans d'une écologie dure (ou profonde selon la traduction littérale de *deep ecology*) qui viseront à annuler les émissions de carbone, et de celle des tenants de l'écologie de marché qui pensent que l'action publique est inutile car l'environnement s'inclura naturellement dans les prix. La position de l'économie de l'environnement est par nature un compromis.

Ainsi, l'objectif de revenir en 2012 à un niveau d'émission de CO₂ inférieur de 5,2 % en dessous de celui de 1990, se traduira différemment selon les pays. Certains pays en développement comme le Brésil n'ont pas d'objectif de réduction des émissions, la plupart des pays développés devant les réduire. Le cas de la France est particulier puisque son objectif négocié dans le cadre du partage de l'objectif commun de l'Union Européenne est la stabilisation de ses émissions en 2012 par rapport à leur niveau de 1990.

2° Taxes, primes et marchés de droits à polluer

L'État peut intervenir en réglementant par la fixation d'une norme ou d'une taxe. Les deux doivent aboutir au même résultat sur le plan de la pollution si les coûts de dépollution de la firme sont connus. Dans le cas de la taxe, le pollueur paie une taxe qui visera à compenser le préjudice subit par le pollué. Apparemment, la taxe respecte le principe pollueur-payeur. Notons qu'en France, une taxe ne pouvant être affectée dans un but précis, les taxes environnementales (à l'exception de la TIPP) contribuent à financer l'ensemble du budget de l'État.

Le second instrument est la prime : soit une prime à la modernisation de l'appareil de production, soit une prime au non-pollueur. Dans le premier cas, le pollué est invité à payer une prime qui doit aider le pollueur à améliorer ses installations et donc à moins polluer : c'est le fonctionnement du PMPOA (Programmes de Maîtrise des Pollutions d'Origines Agricoles) en France. Dans le second cas, on félicite les entreprises qui ne polluent pas, ou qui polluent moins que les autres, en leur versant une prime. Lorsque le mécanisme de la prime est couplé à celui de la taxe,

le principe pollueur-payeur est globalement respecté : ceux qui polluent paient une taxe qui leur est reversée sous forme d'une prime qui va permettre au pouvoir public d'orienter la modernisation. En revanche, si c'est le contribuable qui paie, le principe pollueur-payeur n'est absolument pas respecté ; c'est pourtant ce dispositif que l'on retrouve fréquemment.

La dernière solution de ce type est la mise en place d'un marché de droits à polluer. Cette solution dont on trouve une préfiguration dès les débuts de l'industrialisation a été formalisée par Ronald COASE dans les années 1960 : pour COASE, les externalités ne marquent pas l'échec de la théorie économique, mais uniquement l'absence d'un droit de propriété sur l'environnement. La nature n'appartient à personne et c'est bien là le problème. La solution préconisée consiste à réintroduire un droit de propriété sur l'environnement lui-même (comme une ressource matérielle identifiable comme un cours d'eau). La propriété peut être attribuée soit au pollué, soit au pollueur.

COASE montre alors que, quel que soit le détenteur initial des droits de propriété, une négociation directe entre pollueur et pollué aboutira toujours au même équilibre final, optimal au sens de Pareto. L'avantage notable de cette solution par rapport aux précédentes est que la fiscalité, et donc les contribuables n'interviennent pas. Néanmoins, le théorème de COASE a pour hypothèse fondamentale l'absence de coûts de transaction (hypothèse qui ne tient pas lorsqu'il y a un grand nombre de parties en présence). La solution opérationnelle inspirée de la nécessité de définir des droits de propriété est véritablement le marché de droits à polluer ou marché de permis négociables, mais plus explicitement « marché de quotas d'émission négociables ».

Les entreprises s'échangent, c'est-à-dire se vendent et s'achètent, des permis qui leur donnent droit d'émettre par exemple du soufre (cf. notre exemple de production d'électricité). Ces permis sont distribués (gratuitement ou vendus aux enchères) par les pouvoirs publics qui en fixent le nombre en fonction du rationnement qu'ils veulent imposer aux pollueurs. Ceux qui peuvent réduire leurs émissions facilement et à coût faible trouveront plus rentable d'utiliser peu de permis et de revendre le surplus sur le marché. Ceux qui, au contraire, ont des coûts plus importants de réduction de leurs émissions trouveront plus rentable d'acheter des permis d'émission supplémentaires. Le marché permet les échanges entre ces différents pollueurs et la confrontation de l'offre et de la demande de permis se traduit par la formation d'un prix d'équilibre du marché. Si les pouvoirs publics souhaitent renforcer la contrainte pesant sur les pollueurs, il leur est loisible de réduire le nombre de permis : leur rareté entraîne une hausse des prix, incitant de plus en plus d'entreprises à moderniser leur installation. L'analyse de ces situations excédant le cadre de cet article nous renvoyons le lecteur sur celui concernant le théorème de COASE et sur celui sur les marchés de permis négociable (voir aussi Bourse du carbone).

3° Droit et instruments réglementaires

Une deuxième grande catégorie d'instruments est la « voie réglementaire », utilisée par le législateur pour produire des lois et normes limitant ou interdisant la dégradation des ressources naturelles et certaines pollutions, par exemple en fixant des normes maximales d'émission.

Promulguer des lois peut sembler facile, mais quelques écueils existent : les lois seront-elles pertinentes (question de sécurité juridique) ? Pourra-t-on en contrôler l'application ? (Parfois l'État n'est pas en mesure de supporter ces coûts de contrôle, comme il peut ne pas être en mesure de contrôler l'évasion fiscale ; la taxe peut sembler plus facile à mettre en œuvre, mais elle doit aussi s'appuyer sur la loi). De plus, l'intervention réglementaire est généralement désapprouvée par les libéraux qui refusent la présence de la « main de l'État » au profit de celle du marché.

Définir de « *bonnes lois* » et en contrôler l'application réelle supposent que les États se dotent d'observatoires et d'outils de suivi adéquats. La production d'indicateurs pertinents pour les politiques publiques implique aussi un accès aux données de référence et aux données environnementales pertinentes (indicateurs d'état, pression réponse).

Pour cela, l'Union européenne s'appuie sur le traité d'Amsterdam (dont les objectifs incluent l'efficacité environnementale) et sur la stratégie de Lisbonne revue par le Conseil européen de Göteborg en 2001 qui a appuyé ses objectifs de développement durable, poussant à une réglementation environnementale plus complète, via les livres blancs, de nombreuses directives européennes (directive cadre sur l'eau, directive sur l'énergie et les politiques sectorielles...). L'agence européenne pour l'environnement, située à Copenhague, tient un registre de données environnementales en appui des décisions. La directive 2003/98/CE fournit un cadre pour que les États membres mettent à disposition les données des services publics, dans la mesure où les législations nationales le permettent. Le Danemark et le Royaume-Uni ont lancé le projet MIREG visant à fournir les données de référence sous forme électronique pour l'élaboration d'une politique globale.

Aujourd'hui, les deux tiers des nouveaux textes législatifs en Europe proviennent des règlements et des directives européennes, qui sont élaborés en fonction de critères de développement durable. Ils portent notamment sur l'accès à l'information environnementale, l'étiquetage environnementale, le droit du public et des marchés à disposer d'informations sur la politique environnementale des grandes entreprises. Un autre thème important est celui de la protection, gestion et restauration de la biodiversité et des habitats naturels qui s'appuie sur les études d'impact, les mesures de compensatoires, mais aussi sur la notion de faute, préjudice et crime environnemental et le droit pénal de l'environnement, la recherche environnementale et sur le climat, certaines exonérations, la prise en compte de l'environnement face au droit de la concurrence, la responsabilité sociale et environnementale, l'intégration de clauses environnementales dans l'achat public, l'écoconception, la gestion des produits chimiques

(Règlement Reach, des déchets et des sites, sols et sédiments pollués, les pesticides, les OGM, les nanotechnologies, les perturbateurs endocriniens, etc. Le droit a récemment évolué en intégrant le marché du carbone et les quotas de gaz à effet de serre, et des perspectives sont ouvertes sur la valorisation économique de la nature.

4° Évaluation des politiques publiques

Au-delà de leur simple mise en place et du choix de l'une ou l'autre de ces politiques, l'économie de l'environnement se doit aussi d'offrir des instruments d'évaluation de ces mêmes politiques. De nombreuses études ont montré que la combinaison d'instruments conduit rarement à une situation optimale.

Cette évaluation doit avoir lieu régulièrement et dans la mesure du possible, les associations de défense de l'environnement doivent y participer. Malgré les oppositions que rencontre l'antinomique économie de l'environnement, ces associations doivent pouvoir parler sur un pied d'égalité avec les entreprises, les pouvoirs publics et les experts : l'intégration d'économistes de l'environnement au sein de leur équipe devient indispensable.

L'une des méthodes employées pour le suivi environnemental est le modèle Pression-État-Réponse de l'OCDE, ou des modèles dérivés employés à l'ONU ou à l'Agence européenne de l'environnement.

V. Risques d'effondrements environnementaux et sociétaux

Les **risques d'effondrements environnementaux et sociétaux** du monde industriel contemporain concernent la possibilité que des bouleversements majeurs affectent l'environnement et les sociétés humaines, en raison notamment de l'extinction en cours de nombreuses espèces vivantes et du changement climatique. Ils participent à un processus de catastrophe potentielle à l'échelle de la vie sur Terre.

Ces risques de catastrophes planétaires sont de nature systémique ; ils peuvent être dus en particulier à la consommation excessive des ressources naturelles, ce qui recouvre aussi bien l'exploitation d'énergies fossiles libérant des gaz à effet de serre que la destruction des milieux naturels, et à la pollution liée surtout à l'utilisation du pétrole et de ses nombreux dérivés. L'évaluation de leur degré de gravité repose sur des indices mesurables et des études documentées.

Alors que les effondrements de civilisations du passé ont été géographiquement limités à celles-ci, les analyses actuelles envisagent un bouleversement systémique qui pourrait être mondial. Elles n'envisagent pas nécessairement la fin de l'humanité mais plutôt celle de la société

industrielle. Elles s'appuient sur des faits scientifiques dont la réalité est reconnue par des rapports et expertises scientifiques et institutionnels.

V.1. Définitions et causes d'un risque d'effondrement de la civilisation industrielle

Définitions

Il y a plusieurs définitions de l'effondrement.

Les archéologues voient l'effondrement comme une réduction rapide d'une population et/ou de la complexité politique/économique/sociale/institutionnelle, sur une zone significativement étendue et pour une durée importante.

L'anthropologue américain Joseph Tainter, dans son ouvrage *L'Effondrement des sociétés complexes (The Collapse of Complex Societies)*, complète cette définition principalement par trois points :

1. Plus une société est complexe, plus elle requiert de l'énergie (obtenue autrefois à partir de la biomasse) ;
2. Après avoir épuisé l'énergie bon marché et la dette abordable, elle perd sa capacité à résoudre ses problèmes (économiques et autres) ;
3. L'effondrement est la simplification rapide d'une société.

Une autre définition, plus sociale, relative à la conjoncture actuelle, est celle du mathématicien et homme politique Yves Cochet : « *un processus à l'issue duquel les besoins de base (eau, alimentation, logement, habillement, énergie, mobilité, sécurité) ne sont plus fournis à une majorité de la population par des services encadrés par la loi.* »

Causes

Selon Dennis Meadows, professeur émérite américain de l'université du New Hampshire en gestion des systèmes, l'effondrement est un processus qui implique ce que l'on appelle une « boucle de rétroaction positive », c'est-à-dire un phénomène qui renforce ce qui le provoque. Par exemple : si la population perd sa confiance en la monnaie, elle retire ses fonds des banques, ce qui les fragilise, inquiète les clients qui retirent encore plus leur argent des banques, et ainsi de suite. Ce genre de processus mène à l'effondrement.

Pour les collapsologues et autres défenseurs de ces théories, les facteurs qui contribuent à l'effondrement de la civilisation industrielle ont la particularité d'être interdépendants et globaux, d'où un risque de perturbations systémiques mondialisées et en cascade. Ces facteurs sont étudiés dans les champs environnementaux, économiques, sociaux et culturels, en se basant sur :

1. **La disponibilité des ressources** : par exemple, l'épuisement des ressources énergétiques ou minérales, comme le pic pétrolier, le pic de production de phosphate ou d'autres surexploitations de matières premières critiques.
2. Le risque d'une **transformation radicale de l'écosystème mondial** dans l'Anthropocène. Ainsi, Anthony D. Barnosky, spécialiste américain de biologie évolutive de l'université de Berkeley analyse, dans la revue *Nature*, la possibilité du changement brusque et irréversible de l'écosystème mondial. Johan Rockström (sv), professeur suédois en gestion des ressources naturelles au Centre de Résilience de Stockholm (en) établit en préambule de son article sur les limites planétaires que les pressions anthropiques sur le système terrestre ont atteint une échelle où le changement environnemental mondial brusque ne peut plus être exclu. Will Steffen (en), chimiste américain de l'université nationale australienne, conclut, dans la revue *Sciences*, que La transgression des limites planétaires crée [...] le risque substantiel de déstabiliser l'état Holocène du système Terre ; la destruction des écosystèmes et de la biodiversité ayant elle-même plusieurs origines : besoin d'espace pour l'industrie agroalimentaire de masse, l'élevage intensif, les mines et l'industrie qui induisent des déforestation massive, surpêche et pollution marine, déclin des pollinisateurs, fragmentation et dégradation des habitats naturels, etc. Ceci conduirait – en un temps très rapide mais difficile à évaluer (entre 5 et 75 ans) – à un effondrement global dont la forme exacte reste à déterminer.
3. **La croissance démographique exponentielle** entraînant la surpopulation. Cette surpopulation était déjà redoutée par Thomas Malthus au XVIII^e siècle, qui la théorisa notamment en prônant la restriction démographique.
4. **Le dérèglement climatique** et ses nombreuses conséquences^[12] : la fonte des calottes glaciaires^{[13],[14]}, la disparition accélérée du permafrost qui, en libérant de très grandes quantités de méthane et de CO₂ participe, par boucle de rétroaction, au réchauffement en cours, la montée des eaux qui menace d'inondation de nombreuses villes et mégalopoles côtières, de multiples îles et îlots (certaines îles du Pacifique sont déjà englouties), des régions entières et de grands bassins de vie^[18]. Ces inondations entraîneront des déplacements massifs de population qui s'ajouteront aux millions de migrants contraints de quitter des terres devenues infertiles à cause de ce même réchauffement climatique. Le dérèglement climatique est également à l'origine de manifestations naturelles de plus en plus fréquentes et intenses, comme la multiplication de tornades et typhons, de tempêtes et orages, d'incendies et de pluies torrentielles, de canicules, de sécheresses et également d'épisodes extrêmement froids.

Tous ces paramètres convergent et sont autant de causes d'un possible effondrement. Ces facteurs ne provoquent pas les mêmes effets : la fin du pétrole affectera d'abord le monde industriel et les transports alors que le changement climatique affecte potentiellement toutes les espèces vivantes. C'est l'interconnexion de tous ces facteurs qui accrédite la théorie d'un possible effondrement systémique global.

Les causes considérées sont d'origine anthropique. Les phénomènes sous-jacents, qui selon ces théories pourraient conduire à un effondrement civilisationnel, s'appuient sur diverses études scientifiques et dont la réalité et la gravité est prise en considération par de nombreux organismes publics, parmi lesquels le Club de Rome, le GIEC, des autorités militaires internationales, la Banque mondiale et le Forum de Davos.

Quelques auteurs attribuent les risques d'effondrement global au capitalisme mondial et ont proposé le terme de « capitalocène » à côté de celui d'anthropocène.

VI. Gestion des ressources naturelles

VI.1. Gestion restauratoire

La **gestion restauratoire** est un mode « proactif » de gestion, mis en œuvre par un gestionnaire ou un réseau de gestionnaires sur des milieux dégradés (naturels, semi-naturels, industriels ou urbains) avec l'objectif d'y restaurer la biodiversité, le bon état écologique, un paysage de qualité ou un état disparu (milieu ouvert ou boisé, humide, ou naturellement acide par exemple, etc.).

Il peut aussi s'agir de restaurer non pas un milieu, mais une perturbation (imitation d'un chablis ou d'un petit incendie pour créer une clairière) une ressource, avec à titre d'exemple : une ressource halieutique, la ressource en eau, ou le paysage en tant que source d'aménités et de qualité de vie....

Dans le domaine environnemental, l'objectif premier est la renaturation, que le gestionnaire cherche à faciliter et accélérer en utilisant des techniques de génie écologique. Il s'agit donc d'un mode de gestion intentionnelle (« gestion pro-active », qui doit faire l'objet d'une réévaluation constante au vu des résultats, analysés via des indicateurs environnementaux). En France, la gestion intentionnelle est définie comme « *l'ensemble des « initiatives qu'un acteur spécialisé entreprend, dans le contexte d'une situation de gestion effective, pour faire évoluer l'état du milieu dans un certain sens* », la gestion effective étant « *le mode de conduite du milieu telle qu'il résulte de l'ensemble des actions humaines qui l'affectent* »³.

Si après la phase de restauration, le milieu ne peut être *auto-entretenu*, ce mode de gestion est habituellement suivi d'une phase de gestion conservatoire, s'appuyant sur un plan de gestion (de la ressource qu'on veut protéger, du paysage, des habitats...) et sur un dispositif de suivi et d'évaluation et parfois de protection (protection foncière, réserve naturelle, etc.).

Quand il s'agit de sauver une espèce qui doit aussi rapidement évoluer pour faire face à d'importants et rapides changements environnementaux, tels que le changement climatique, le recul des pollinisateurs, la fragmentation écopaysagère, on parle aussi de « sauvetage évolutif » (Evolutionary rescue).

VI.1.1. Lieux et exemples d'application

La gestion *restauratoire* peut concerner :

- le domaine de la protection de la nature est celui qui utilise et développe le plus ces techniques souvent recommandées ou imposées dans les plans de gestion de milieux « naturels », forêts faisant l'objet d'une gestion durable.
- des mesures restauratoires ou mesures compensatoires imposées dans le cadre d'une enquête publique à la suite des conclusions d'une étude d'impact, souvent dans le cadre de travaux publics (urbains, routiers, voies ferrées, creusement de canaux, construction de barrages..) ou d'aménagement foncier agricole et forestier).
- certains espaces forestiers (pour obtenir un écolabel de type FSC par exemple).
- certains espaces agricoles (par exemple dans le cadre d'une reconversion d'exploitation vers l'agriculture bio ou pour la restauration de prairies, bocage ou zones tampons (bandes enherbées, zones tampons humides)⁶ plus riches en biodiversité et/ou fonctionnellement plus efficaces pour la protection de l'eau ou la restauration d'un sol plus humique et stable face à l'érosion, salinisation, eutrophisation ou à la régression et dégradation des sols...).
- le domaine halieutique, où il s'agira alors de restaurer des stocks viables de poissons (morue) ou autres organismes (crustacés, coquillages, algues) exploités en mer ou en eau douce, de manière à permettre une pêche plus durable. Les gestionnaires s'appuient alors sur des réintroductions (saumons, esturgeon...), ou des confortements de populations (à partir d'élevages conservatoires ou de prélèvements faits dans la nature). Une autre méthode possible est de restaurer les conditions physiques du milieu naturel, comme le débit d'un fleuve. Des récifs artificiels, des restaurations expérimentales de milieux (ex : récifs reconstitués de manière accélérée par accrétion minérale électrolytique et de nombreux dispositifs de protection complémentaires (réserves naturelles, quotas, etc.) peuvent compléter le dispositif.
- le domaine de la prévention des risques, où il s'agira de restaurer un milieu qui par ses fonctions naturelles, protégera les populations.

Dans tous les cas, c'est un mode de gestion qui vise à accélérer les processus de cicatrisation du paysage ou du milieu.

VI.1.2. Contenu, méthodes

La *gestion restauratoire* cherche à imiter les processus naturels de résilience écologique, par exemple en restaurant en premier lieu un stade espèces pionnières (par ensemencement, expression de la banque de graines du sol, construction d'ouvrages de génie écologique, voire éventuellement avec la réintroduction d'espèce localement disparue) pour faire évoluer le milieu

vers un stade d'*auto-entretien* plus naturel. Pour s'adapter aux milieux et à leur évolution, c'est nécessairement une gestion différenciée.

Paradoxalement, le gestionnaire peut aussi chercher ponctuellement, dans l'espace et dans le temps, à restaurer des processus évoquant pour le public une dégradation du milieu : érosion favorisant les cailloutis, coupe forestière ou incendie contrôlé visant à localement restaurer les clairières, étrépage visant à déseutrophiser le milieu et/ou à remettre à jour les graines enfouies depuis plusieurs décennies, tuer des arbres pour restaurer la ressource en bois mort nécessaire aux communautés saproxylophages, etc.

Quand les grands herbivores ont disparu, le gestionnaire utilise des moyens mécaniques (pour la fauche avec exportation par exemple) et peut utiliser des *auxiliaires* vivants tels que moutons, *bovins*, chèvres, chevaux, ânes, etc. qui entretiennent le milieu en y dispersant des graines et propagules de nombreux organismes d'une manière proche de celle d'animaux sauvages. Lièvres et lapins peuvent contribuer à entretenir des zones de landes ou pelouses rases, etc.

VI.1.3. Réintroduire de la complexité dans un milieu homogénéisé par l'homme

Même si l'homme est cause de dispersion de nombreuses espèces devenant souvent invasives dans leur nouveau milieu, les activités et déplacements humains ont surtout été de puissants facteurs d'homogénéisation (paysagère, mais aussi *génétique, taxonomique et fonctionnelle*), très défavorable au maintien de la biodiversité. En favorisant les espèces ubiquistes au détriment des espèces spécialistes, beaucoup plus variées, l'homogénéisation anthropique du Vivant (*Biotic homogenization* pour les anglophones) a des impacts graves, immédiats et différés, notamment sur les processus écologiques et évolutifs.

Des écologues plaident pour que l'on étudie mieux les implications de cette homogénéisation pour la conservation et pour que l'on promeuve rapidement une gestion restauratoire et adaptative, proactive, qui engage de manière mieux maîtrisée la composante humaine du « mélangeur anthropique » qu'est devenu l'Homme pour le biote planétaire.

VI.1.4. Renaturation des cours d'eau

La renaturation est l'un des thèmes importants de la mise en œuvre d'une restauration écologique de cours d'eau, par exemple dans le cadre de la trame bleue. Elle vise à retrouver ou approcher le bon état écologique du cours d'eau dans son ensemble.

Néanmoins supprimer les obstacles artificiels (barrages, seuils importants) ou détruire des berges de béton ou palplanche pour recréer un profil plus naturel ne suffit pas à recréer les larges zones alluviales de bras morts et tresses qui existaient quelques décennies ou siècles plus tôt, ni à retrouver les services écosystémiques qui y étaient associés. Une opération mal conduite peut

même parfois conduire à un surcreusement du cours d'eau, avec augmentation de la turbidité et à une baisse des nappes et donc des niveaux de sources adjacents et du proche bassin versant. L'Agence de l'eau Seine-Normandie recommandait en 2007 dans son Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau avant toute opération de renaturation de bien étudier, et au cas par cas :

- la nature et le type de cours d'eau concerné ;
- l'importance et le nombre des interventions qu'il a subi dans le passé et les dysfonctionnements hydrologiques ou écologiques que cela a induit ;
- le degré de réversibilité de ces interventions/artificialisations ;
- ce qu'on peut espérer recréer à partir de cette situation et le type d'intervention possible parmi les différentes techniques de restauration existantes ?, pour quels effets bénéfiques espérés avec quels risques ai-je de ne pas atteindre les objectifs de restauration ?
- les possibilités que le cours d'eau puisse se restaurer lui-même ?
- les meilleurs périodes pour les travaux de restauration ;
- les indicateurs qui permettront d'évaluer la réalisation proposée.

Aujourd'hui, des modèles de prédiction sont développés par des scientifiques afin de connaître au mieux les conséquences des actions de restauration des cours d'eau.

VI.1.5. Réintroduire des espèces comme auxiliaires de gestion

Ce mode de gestion peut (après évaluation scientifique) s'appuyer sur la réintroduction d'espèces fonctionnellement importantes (le castor par exemple, pour sa capacité à restaurer et entretenir des zones humides, des insectes pollinisateurs, les symbiotes d'espèces que l'on voudrait restaurer, etc).

VI.1.6. Remplacer certaines espèces disparues ?

Des scientifiques et des gestionnaires songent à remplacer certaines espèces « *récemment* » disparues (grands herbivores, grands carnivores) qui jouaient des rôles fonctionnels et écopaysagers essentiels quand leurs fonctions écologiques ne peuvent être remplacés par une gestion restauratoire par l'homme.

C'est ainsi que le cas des aurochs⁸ et tarpans⁹ reconstitués dans certains espaces naturels européens et ils envisagent aussi d'expérimenter (en milieu confiné) des introductions telles que celle du lion ou de l'éléphant africain en Amérique du Nord pour respectivement « remplacer » le lion des cavernes et les espèces de mammoths qui n'ont pas survécu à la chasse préhistorique.

⁸ L'**aurochs** (ou **auroch**) est une espèce disparue de bovidé, ancêtre des races actuelles de bovins domestiques, et appartenant au genre Bos. Son nom scientifique est Bos primigenius mais, selon les auteurs, il peut être considéré comme une sous-espèce (Bos taurus primigenius) des bovins de l'espèce Bos taurus.

⁹ Le **Tarpan** (Equus ferus ferus ou Equus ferus gmelini) est un équidé sauvage européen éteint, quelquefois considéré comme l'ancêtre de la plupart des races actuelles de chevaux.

VI.1.7. Les acteurs

Ce sont au niveau international l'ONU via le PNUE et la FAO par exemple, et dans le cadre de la convention mondiale pour la biodiversité, mais avec une tendance à rapprocher les actions de lutte contre la désertification et de protection du climat à ce thème (projet présenté à la convention de l'ONU pour la biodiversité à Nagoya en 2010, dans le pavillon de la biodiversité).

Des échelles émergentes existent, avec des sous-ensembles plus ou moins proche de certaines échelles biogéographiques, avec notamment l'Union européenne, le réseau AEWA, le réseau écologique paneuropéen, le G77¹⁰, la zone du corridor écologique méso-américain, qui développent leurs propres stratégies de gestion, protection et restauration de la biodiversité, en lien avec l'ONU.

Les gouvernements et de nombreuses agences y contribuent aux échelles nationales, ainsi que les régions et communautés locales où doivent concrètement s'appliquer les stratégies d'aires protégées et de restauration de réseaux écologiques

Les gestionnaires d'aires protégées s'appuient sur des réseaux scientifiques, des conseils scientifiques et les retours d'expérience pour améliorer leurs savoirs et savoir-faire. Enfin le tissu associatif local d'ONG est à l'origine de la plupart des projets et réalisation d'aires protégées.

VI.2. Gestion différenciée

Tout aménagement urbain ou périurbain artificiel appelle un suivi pour sa pérennité. La végétation évoluant constamment et naturellement vers un stade climacique théorique ou en réponse aux contraintes locales (y compris de pollution, de surfréquentation, etc.), le contrôle de son développement est nécessaire ; de plus, les gestionnaires cherchent à maintenir ou améliorer la valeur esthétique de l'espace et à répondre à une demande croissante de naturalité, mais aussi d'accessibilité. Pour répondre à ces objectifs parfois contradictoires, un plan de gestion différenciée peut émerger d'une réflexion sur les fonctions des espaces verts ou semi-naturels et les scénarios d'entretien futur.

Ce nouveau mode de gestion (*gestion différenciée*) apparu dans les années 1990, se veut une gestion plus écologique et alternative à la gestion horticole intensive, banalisée et banalisante. Il intègre des éléments de défense et restauration de l'Environnement et implique une autre technicité, ainsi que la diversité des réponses de gestion afin de respecter les différents milieux et besoins de la flore, des usages dans les espaces publics végétalisés, tout en conservant un souci de l'esthétique des formes et successions végétales.

¹⁰ Le groupe fut fondé le 15 janvier 1964 par la Déclaration commune des 77 pays à la Conférence des Nations unies sur le commerce et le développement (CNUCED).

Sont concernés à une échelle quotidienne la gestion des ressources, la limitation des pollutions induites, les recyclages puis, du point de vue de la biodiversité, la reconnaissance et l'expression des potentiels écologiques, la prise en compte d'éléments de flore et de faune sauvages et/ou spontanés, la revalorisation d'espaces et de milieux jusqu'à présent délaissés, voire pollués. Ce nouveau mode de gestion appelle les compétences de divers acteurs (professionnels, organisations, associations et plus récemment public dans le cadre d'une démocratie participative), comme des ingénieurs écologues, paysagistes, collectivités locales, parcs naturels régionaux...

La **gestion différenciée** (parfois qualifiée de *gestion harmonique*, *gestion raisonnée durable*, *gestion évolutive durable*, et même de *gestion raisonnable* en Isère) est une façon de gérer les espaces verts en milieu urbain qui consiste appliquer à chaque élément du patrimoine (foncier et végétal) un traitement spécifique, avec des niveaux de prestation variables selon la catégorie dont il relève (parc ou jardin), sa fonction culturelle, sociale et biologique, son rôle dans le tissu urbain et la relation qu'on souhaite créer avec le végétal.

Selon cette approche qui s'inspire de techniques agricoles traditionnelles ou de gestions douces comme *Prosilva*, il est inutile par exemple, voire écologiquement non pertinent de tondre systématiquement et souvent toutes les surfaces enherbées, ce qui conduit à n'obtenir qu'un même milieu (pelouse rase), presque monospécifique, c'est-à-dire banal et très appauvri en biodiversité, ne développant que peu de services écologiques, peu utile pour la faune, hormis pour quelques espèces invasives ou ubiquistes (comme l'étourneau).

La gestion différenciée, dans ce cas proposera que certains espaces moins fréquentés, aux sols plus fragiles, ou écologiquement précieux soient laissés à eux-mêmes, fauchés ou extensivement pâturés, éventuellement même une fois tous les deux ans sur certaines parties afin d'y conserver des *refuges* pour la biodiversité et une plus grande diversité de paysages, alors que d'autres seront intensivement tondues en raison de leurs fonctions ; l'exemple extrême étant celui du terrain de football destiné aux compétitions homologuées.

Cette logique s'accompagne souvent d'une augmentation du taux de végétalisation de la surface boisée et d'une réduction (ou suppression) de l'usage des pesticides et désherbants et de l'exportation des produits de fauche et de taille (vers unité de compostage, horticulture, agriculture..) ou de leur utilisation locale (mulch, *bois raméal fragmenté*, compostage sur place.



Une simple fauche annuelle et tardive au bord du chemin, et bisannuelle aux abords de l'ourlet conserve un aspect naturel aux chemins. Un brossage mécanique des bordures peut remplacer l'usage de désherbants (Parc urbain de Gdansk, Pologne)



L'*US Army Corps of Engineers* a dragué une partie du *Bussey Lake* eutrophisé pour restaurer une diversité d'habitats et d'espèces (Mississippi, près de Guttenberg, Iowa, États-Unis) : souvent mieux laisser faire la nature mais parfois des moyens importants sont mobilisés ; mais un certain manque de *naturalité* de l'aménagement, formes et configurations douces et complexes développées par les processus naturels ayant elles-mêmes une importance fonctionnelle, la gestion différenciée cherche souvent à s'en inspirer.



Talus du lycée Pasteur de Lille : une part de l'herbe est fauchée, une autre conservée en une zone refuge provisoire. La conservation d'*îlots-refuges* sans fauche durant plusieurs années préserve l'habitat des chrysalides et des stades hivernaux de la faune, flore et fonge.



Même en ville, les grands espaces verts, ou des espaces linéaires (ex : berges) peuvent être gérés avec l'aide d'animaux herbivores (ovins, bovins, caprins), comme ici avec poneys et taureau *Highland cattle* broutant les abords de la cunette ceinturant la citadelle de Lille, même sur de fortes pentes. Les animaux déplacés d'un site à l'autre transportent de nombreuses propagules sous leurs sabots, sur leurs pelages et dans leurs tubes digestifs, jouant en quelque sorte un rôle de *corridor biologique ambulante*.

VI.2.1. Les objectifs

Les objectifs sont multiples :

- rationaliser la gestion des espaces verts en y affectant les ressources nécessaires ;
- améliorer la qualité de vie et d'usage en diversifiant les qualités paysagères et les offres d'aménités ;

- restaurer, préserver et gérer la biodiversité, en limitant l'artificialisation, les pollutions (engrais, pesticides, pollution et/ou mortalité de la faune induite par les engins), en limitant le dérangement et en favorisant la diversification des milieux et des espèces, ainsi que l'expression des processus naturels d'entretien et de cicatrisation de la biodiversité. C'est un moyen de développer les services écosystémiques et les aménités offerts par les espaces verts ou milieux semi-naturels ;
- faire une pédagogie à l'environnement : le travail des jardiniers municipaux ou privés au service des collectivités est aussi un modèle, voire un support à l'écocitoyenneté pour le public qui les voit travailler ou leur parle.

Cette gestion peut bénéficier d'une approche en réseau écologique, parfois dénommé *trame verte* ou la faune naturelle sera alors considérée comme un auxiliaire de gestion qu'on cherche à faire circuler sur les espaces. Dans un contexte souvent très artificiel le gestionnaire veille aussi à limiter l'expansion d'espèces invasives ou envahissantes.

VI.2.2. Méthodes alternatives aux produits phytosanitaires

Les mots de la lutte biologique

La définition officielle (de l'OILB-SROP) stipule que la lutte biologique est « l'utilisation d'organismes vivants pour prévenir ou réduire les dégâts causés par des ravageurs ». Le principe est simple : La lutte biologique est basée sur l'exploitation par l'Homme et à son profit d'une relation naturelle entre deux êtres vivants :

- **la cible** (de la lutte) est un organisme indésirable, ravageur d'une plante cultivée, mauvaise herbe, parasite du bétail... ;
- **l'agent de lutte** (ou auxiliaire) est un organisme différent, le plus souvent un parasite, un prédateur ou un agent pathogène du premier, qui le tue à plus ou moins brève échéance en s'en nourrissant ou tout au moins limite son développement.
 - Si l'auxiliaire est un animal, il s'agit de lutte biologique, ou **lutte par entomophage**. L'auxiliaire peut être un vertébré (Oiseau ou Poisson insectivore) ou un Nématode ; dans la plupart des cas, c'est un autre Insecte. Les prédateurs (qui tuent et mangent plusieurs proies au cours de leur développement) se distinguent des parasites, qui vivent aux dépens d'un unique hôte, lequel meurt après l'achèvement du développement du parasite. Il existe des parasites d'œufs, de larves, de nymphes. Leurs biologies sont extraordinairement variées et les relations hôte-parasite sont très complexes, incluant des échanges hormonaux et des messages chimiques interspécifiques.
 - Si l'organisme antagoniste est un micro-organisme, on parle de **lutte microbiologique**. L'agent pathogène auxiliaire peut être un Champignon, une Bactérie, un Virus, un Protozoaire. Il infecte l'hôte en général par ingestion et

possède une forme de résistance lui permettant de passer - et de demeurer - dans le milieu (sol, feuillage, litière).

L'agent pathogène se multiplie dans l'hôte et cause sa mort par destruction de tissus, par septicémie, parfois par l'émission d'une substance toxique (cas des Bactéries). Les cadavres de l'hôte libèrent les agents pathogènes dans le milieu.

- Si l'organisme antagoniste peut, à la suite de son apport par l'Homme au contact de l'Insecte cible, se développer et se maintenir aux dépens de cet Insecte, sans nécessiter une nouvelle intervention, on est dans le cas de la **lutte biologique par acclimatation**. Ainsi en est-il lorsqu'on fait appel à un entomophage ou à un agent pathogène exotique contre un ravageur précédemment introduit ou parvenu naturellement d'une autre région du globe.

En cas d'acclimatation réussie et d'efficacité suffisante, la lutte biologique s'effectue toute seule, l'auxiliaire devenant un agent efficace et permanent (sur de nombreuses années au moins) de la répression du ravageur. L'effort initial est particulièrement bien valorisé. On est dans le cas dit parfois de la **lutte biologique naturelle**.

- Si l'organisme antagoniste doit être lâché ou inoculé (en grand nombre) à chaque fois que l'effectif du ravageur croît dangereusement, on est dans le cas de la **lutte biologique inondative**. Il faut alors maîtriser les techniques de multiplication de l'entomophage (en insectarium) ou du germe pathogène (en fermenteurs pour les Bactéries, sur le vivant pour les Virus), de conditionnement de stockage et d'épandage, tout en maintenant constante la qualité du produit. De tels auxiliaires, dits biopesticides, destinés à des applications répétées dans une pratique agricole courante font l'objet de multiples contrôles pour s'assurer de leur innocuité pour les êtres vivants non cibles. Leur gamme d'hôtes (en principe très limitée) est examinée tout autant que leurs éventuelles propriétés toxiques ou allergènes.

Par sélection et par des opérations de génie génétique, on cherche à améliorer ces auxiliaires, en leur conférant par exemple des propriétés de résistance aux climats extrêmes, aux insecticides ou aux fongicides.

- **Aux frontières de la lutte biologique** : la lutte autocide (encore dénommée lutte par mâles stériles).

Elle a pour principe l'introduction en grand nombre dans une population naturelle d'individus mâles modifiés (rendus stériles par l'application de rayonnements ionisants) mais au comportement sexuel intact. Ces mâles manipulés seront, une fois lâchés, en compétition avec les mâles sauvages. S'ils sont (par exemple) 9 fois plus nombreux que leurs congénères

« naturels », et si les femelles n'acceptent qu'un accouplement, 9 femelles sur 10 n'auront pas de descendance. Au bout de peu de générations, l'apport de mâles stériles continuant, la population cible est anéantie. La lutte autocide repose sur un principe très astucieux mais son emploi semble restreint à quelques très rares cas bien adaptés.

- **Au-delà de la lutte biologique...** On travaille actuellement à mettre au point l'utilisation des toxines des Champignons et des Bactéries entomopathogènes, soit en tant que matière active phytopharmaceutique à ranger à côté des insecticides classiques, soit en tant que substances qu'on fait fabriquer par la plante génétiquement modifiée (un maïs transgénique résistant à la Pyrale du maïs est en principe disponible).

Protection raisonnée des cultures

Respectueuse de l'environnement, elle passe par l'introduction d'auxiliaires, l'emploi de la microbiologie, ou des méthodes mécaniques ou thermiques. Les moyens dits mécaniques ou thermiques peuvent être employés contre les adventices (dites *mauvaises herbes*), ou contre certains prédateurs des plantes, ou organismes indésirables du sol.

- **Le binage** consiste à ameublir la terre autour de plante cultivée par l'action d'un outil manuel (la binette) ou mécanique (la bineuse mécanique). Il permet, entre autres, de déraciner les mauvaises herbes.
 - **Le désherbage thermique** consiste à brûler les mauvaises herbes grâce à une machine conçue à cet effet.
 - **La solarisation** est une technique de désherbage des sols au moyen de la chaleur du soleil.
 - **La désinfection des sols à la vapeur**, utilisée en culture sous serres ou dans certains élevages pour détruire les germes, dont les pathogènes présents dans le sol.
- **Protection des espaces sensibles au feu**

Les feux de forêt présentent un risque grandissant dans les régions chaudes et sèches et parfois dans les zones tempérées. Les explications souvent produites sont :

- **à une déprise agricole** entraînant une diminution de l'entretien régulier des zones naturelles sensibles au feu ;
- **à un mitage du paysage** avec implantation en forêt sèche de nouveaux habitants ignorant les risques liés au feu. Cette inexpérience débouchant sur des imprudences, souvent source de départ de feu ;

- **à une spéculation sur le développement touristique**, des enjeux financiers considérables expliquant certaines mises à feu volontaires ;
- **des sècheresses répétées**, éventuellement exacerbée par le drainage des zones humides. L'accroissement de bois mort et sec dans des secteurs vulnérables au feu, et de moins en moins exploités peut aggraver le risque.

Face à cette situation, la réglementation, les moyens collectifs de prévention et de défense, et l'information du public sont associés pour encourager des aménagements plus réfléchis, des comportements plus prudents, et une gestion plus rigoureuse que ces espaces.

L'inflammabilité des matières organiques et des tissus végétaux évolue avec leur teneur en eau et en terpènes. Elle varie avec l'importance des surfaces exposées à la déshydratation, et selon le stade de développement des végétaux (selon l'âge, espèce et la disponibilité en eau). Sa connaissance permet d'attirer la vigilance du gestionnaire à certaines périodes de l'année, ou peut orienter le choix des essences lors d'un aménagement ou orienter des aménagements pour que le bassin versant retienne mieux l'eau des pluies hivernales.

Un tableau qui recense toutes les espèces des stades herbacé, arbustif et arboré, permet de prendre connaissance du degré d'inflammabilité de chaque espèce, mois par mois. Le degré est noté de 0 à 5, respectivement de « peu inflammable » à « extrêmement inflammable ». Ces données ont été établies à partir d'essais menés sur des échantillons au même stade de développement et sur des critères de fréquence, de délai d'inflammation et de durée de combustion.

Il existe plusieurs méthodes de protection :

- **débroussaillage** : cela consiste à détruire la strate herbacée et la partie basse arbustive afin de réduire les risques de départ de feu.
 - *manuel* : assure un travail de qualité, permet la sélectivité des espèces, onéreux pour de faibles rendements, prévoir l'évacuation des déchets ;
 - *mécanique* : la pente limite les interventions, l'investissement est lourd mais les rendements sont importants, les déchets broyés restent sur place ;
 - *chimique* : application de produits à absorption racinaire ou foliaire, l'approvisionnement en eau est parfois difficile, les conditions phénologiques et climatiques réduisent la période, les végétaux se dessèchent et restent sur place.
- **brûlage dirigé (ou écobuage)** : cela consiste à brûler la strate herbacée et arbustive à une date permettant de limiter les dégâts sur la strate arborée, afin de créer une zone recelant moins de combustible, ralentissant la progression du feu et favorisant les moyens de lutte contre l'incendie. L'intervention est rapide et le prix de revient faible, mais il doit être réalisé par des spécialistes.

- **pâturage contrôlé** : cela consiste à faire paître un troupeau d'ovins ou de caprins afin de limiter la phytomasse dans les zones à protéger (sylvo-pastoralisme). Il permet de lutter dans une certaine mesure contre la désertification, mais occasionne quelquefois des dégâts aux végétaux à conserver. Cela nécessite la mise en place de clôtures et la présence de bergers spécialisés.

VI.2.3. Gestion différenciée par type d'espace

Entretien des espaces d'accompagnement

1° Gestion des zones arbustives

- **Protection contre les animaux** : dans les secteurs particulièrement exposés, le gibier peut provoquer des dégâts irréversibles, notamment au niveau des écorces, sur les jeunes plantations. Dans ce cas, il est indispensable de placer des filets de protection autour des arbustes, avec un léger buttage pour éviter les passages au-dessous. Trois tuteurs en bambous sont enfoncés de 30 cm dans le sol et maintiennent un manchon de filet polyéthylène (60 cm de haut).
- **Arrosage** : dans les parties dépourvues de système d'irrigation, il sera nécessaire de prévoir un arrosage des jeunes arbustes à l'aide, par exemple, d'une citerne.
- **Taille des arbustes à fleurs** : consiste à supprimer les rameaux ayant fleuri pour obtenir de nouvelles branches bien florifères. (Périodes d'intervention : immédiatement après la floraison pour les arbustes à floraison printanière, pendant tout le repos de la végétation pour les arbustes à floraison estivale).
- **Taille des haies** : consiste à conserver les formes et les volumes des haies régulières. La période la mieux adaptée est fonction de la pousse et de la résistance au gel des jeunes pousses.

2° Gestion des bords de route

Le réseau routier s'est considérablement transformé ces dernières décennies. Avec l'augmentation du trafic, l'emprise routière s'est élargie. Le bord des routes était fauché manuellement par les cantonniers autrefois mais aujourd'hui cela nécessite un matériel performant. Face à des tâches d'entretien de plus en plus lourdes, les responsables du domaine routier se tournent vers une gestion plus écologique³. Elle consiste à reconstituer les structures végétales favorisant un équilibre biologique. Ces dernières créent un espace naturel et d'entretien plus facile.

- **Intégration paysagère** : généralement, les travaux d'infrastructure modifient profondément le sol. Il est donc important pour en faciliter la gestion :
 - de favoriser l'intégration de l'ouvrage par le choix d'essences locales hétérogènes,
 - d'utiliser des espèces d'installation plus facile adaptées au sol et au climat,

- de reconstituer les structures naturelles de type prairies, fourrés ou haies vives caractéristiques du milieu et utiles comme zone-refuge pour la faune.
- **Gestion extensive des dépendances vertes** : les interventions pratiquées relevant du génie écologique découlent de l'observation des écosystèmes. Il s'agit de mettre en place une stratégie favorisant les relations entre les acteurs naturels d'un site en appliquant certaines règles :
 - assurer l'équilibre et la stabilité des biotopes ;
 - maintenir le recyclage des éléments de base par le respect des surfaces minimales indispensables à l'autonomie du système biologique ;
 - maîtriser l'évolution naturelle tout en conservant des réseaux de corridors biologiques et de zones-refuges, y compris pour les espèces caulicoles de la strate herbacée, qui ne supportent pas la fauche ;
 - choisir le matériel le moins traumatisant pour la végétation et la faune qui s'y réfugie.

3° Gestion des zones prairiales

Il existe deux grands types de zones prairiales : les prairies humides et les prairies sèches.

- **Les prairies humides** sont des écosystèmes naturels et quasi-naturels dont la végétation est caractérisée et dominée par des graminées, des laïches, des roseaux, des joncs et des herbes pérennes basses. Elles abritent une faune et une flore sauvages ainsi qu'une diversité biologique spécifiques, comprenant des espèces et communautés de plantes et d'animaux rares et menacés, y compris des populations d'oiseaux importantes au niveau international, une diversité de mammifères, invertébrés, reptiles et amphibiens. Elles sont périodiquement inondées ou saturées d'eau et entretenues par la coupe, le brûlage, le pâturage (naturel ou induit par l'Homme), ou encore par un assortiment de ces facteurs.
- **Les prairies sèches** offrent des habitats à de multiples espèces animales et végétales, mais tendent à se raréfier, comme on peut le voir avec l'exemple de la Suisse. C'est pourquoi l'Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEFP) de cet état dresse actuellement l'inventaire des prairies et pâturages secs d'importance nationale. À la fin de l'an 2000, les collaborateurs de bureaux d'écologie privés achevaient ce bilan dans la moitié des cantons. Afin de déterminer quelles sont les zones à protéger en priorité, une méthode d'appréciation et de classification a été mise en place. Chaque prairie est évaluée en fonction de sa qualité ; cette valeur repose sur six critères : végétation, superficie, éléments structurels importants pour les animaux, présence possible d'espèces végétales rares, diversité de la végétation, et réseaux écologiques comprenant des corridors situés à l'extérieur de la prairie.

La flore qui recouvre les zones enherbées se compose de plantes annuelles, vivaces et quelquefois semi-ligneuses. Les graminées sont les plus nombreuses dans les pelouses et les prairies ; pour les plus soignées, elles constituent même la seule végétation. Il est donc très important de connaître leur cycle végétatif afin de déterminer les périodes d'intervention humaine. Connaissant ce cycle, on comprend donc que la période intense d'intervention se situe entre la « montée de l'épi » et la « fructification », que les interventions volontairement limitées débiteront à la « montée de l'épi », et que le fauchage, réduit à une intervention annuelle, doit naturellement avoir lieu à la « montée de l'épi ».

Le fauchage, méthode de coupe largement dominante en gestion différenciée, consiste à couper l'herbe d'une certaine hauteur ; les déchets sont soit laissés sur place, soit râtelés et chargés. Il est généralement annuel mais peut être renouvelé plusieurs fois pour des raisons de sécurité (visibilité au bord des routes) ou d'esthétique. On utilise trois types de matériel :

- **la barre de coupe sur tracteur**
- **la barre de coupe sur motoculteur** (pour des surfaces plus réduites avec peu d'obstacles et éventuellement en pente, mais une coupe de qualité)
- **la motofaucheuse** (pour de grandes surfaces et une coupe sans finition).

Afin de réduire les interventions sur ces zones, il est également important de choisir des essences adaptées aux qualités naturelles du site et du sol, afin de limiter l'arrosage (qui devra être calculé en fonction des précipitations naturelles et de l'évapotranspiration du sol), la fertilisation et les traitements phytosanitaires. Quant au désherbage, il pourra être considérablement réduit par le choix d'espèces à forte combativité, qui ne laisseront pas une grande place aux adventices.

4° Gestion des plans d'eau et de leurs abords

Un plan d'eau est un élément vivant tout comme les parties végétalisées, et à ce titre il doit recevoir une surveillance et un entretien réguliers. Dans l'écosystème aquatique, chacun des éléments de la chaîne trophique doit garder sa place et se développer normalement, sous peine de voir cet ensemble se modifier rapidement et mourir.

Il existe six contrôles différents permettant d'assurer la préservation de ces milieux :

- **les contrôles en amont** permettent de protéger les zones inondables (ce qui contribue à la qualité de l'eau), de vérifier les rejets d'eaux usées (assainissements, industries...) et d'avoir une action sur les méthodes culturales (pas d'excès de nitrates) ;
- **le contrôle de la luminosité** vise à limiter le développement de la voûte végétale pour favoriser l'action de la lumière sur la végétation immergée (photosynthèse = oxygénation de l'eau), et limiter les végétaux et matières en suspension (l'excès de nitrates favorisant les végétaux flottants) ;

- **la limitation de la végétation aquatique** se fait par faucardage, de manière à ne pas trop couper au même moment (pour éviter l'arrêt de la reproduction des poissons) ;
- **le contrôle des dépôts vaseux**, qui sont signes d'asphyxie et de mauvaise qualité de l'eau ; cet inconvénient peut être limité par un apport de craie de Champagne ;
- **le contrôle de la population piscicole** permet de conserver une bonne proportion entre la quantité de poissons et les réserves en nourriture et oxygène du plan d'eau ;
- **le contrôle de l'équilibre chimique de l'eau** permet de détecter rapidement les pollutions accidentelles et d'y remédier.

La bonne connaissance des écosystèmes liés aux zones humides aboutira à une réflexion favorisant des interventions plus respectueuses de l'équilibre biologique de la flore et de la faune : l'irrégularité et la végétalisation des contours multiplient les niches écologiques, et un niveau d'eau constant ainsi qu'un aménagement des rives en pente douce favorisent une faune et une flore importantes le long des berges.

Conclusion et recommandations

Les activités anthropiques et l'exploitation continue des ressources naturelles (eau, sol, forêt, ressources énergétiques et minérales, etc.) ont créé un grand déséquilibre entre population et ressources (Malthus et les malthusiens) et ont même été à l'origine de la disparition de certaines espèces végétales et animales, de la destruction irréversible des écosystèmes et de la biodiversité. Les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère par les activités humaines (industrie, agriculture, transport, etc.) sont responsables du changement climatique et toutes ses conséquences. La planète toute entière est donc menacée par celui ou celle qui était censé la protéger au premier degré, en vue de préparer une vie meilleure aux futures générations. L'humanité tout entière doit faire un sursaut, être consciente du risque imminent qu'elle court en continuant de vivre comme elle vit aujourd'hui (surexploitation des ressources), sinon l'épée de Damoclès plane toujours au-dessus de sa tête. Le risque d'effondrement de la société industrielle n'est pas à écarter. Des actions concrètes visant à protéger, gérer, restaurer, atténuer les risques, ... doivent être pensées et mises en œuvre avec une mobilisation de moyens substantiels afin de sauver ce qui peut encore l'être ; demain, il sera peut-être trop tard. Quelques actions à mener pour une gestion efficiente des ressources ont été développées à travers les points VI et VII. Il est également recommandé de mener les actions ci-après :

❖ Recycler de plus en plus de matériaux

Pendant longtemps notre modèle de consommation a été linéaire : extraire, fabriquer, consommer puis jeter. Mais pour éviter de surconsommer et d'épuiser les ressources de notre planète, nous devons changer nos modes de consommation, notamment en recyclant tout ce qui peut l'être. C'est la première étape vers la rationalisation de nos ressources.

Cela permet de récupérer les matériaux (métaux, terres rares) que contiennent nos objets. Pour cela, des **bacs sont à votre disposition dans de nombreux supermarchés** et vous pouvez **rapporter vos appareils électriques et électroniques** dans les magasins qui en vendent. Les déchèteries et les ressourceries acceptent également volontiers tous vos objets.



❖ Donner, prêter ou vendre plutôt que jeter

Ces dernières années, acheter d'occasion est devenu de plus en plus facile avec Internet. Tout posséder, cela devient dépassé. Aujourd'hui, on **échange plus volontiers** entre voisins, collègues et amis. 76 % des Français affirment avoir déjà acheté d'occasion (étude ADEME, 2014)

De plus, des entreprises nous facilitent la vie : on peut facilement **partager ou emprunter** une voiture (autopartage, auto'lib), un vélo, un appartement pour un week-end ou des vacances, etc.

À chaque fois que l'on partage, ce sont des objets en moins à fabriquer pour satisfaire les besoins de chacun d'entre nous. Moins d'objets à fabriquer, c'est aussi moins de ressources utilisées !

❖ Privilégier les logos environnementaux



Pour choisir son ordinateur, son écran plat et d'autres objets de notre quotidien, il est nécessaire de privilégier les produits qui portent un label environnemental. Pourquoi ? Parce qu'il garantit un produit qui prend en compte les impacts environnementaux à chaque étape de la vie du produit.



Avant de choisir son téléphone, on peut aussi évaluer son impact, pensez-y !

Pour le poisson, choisissez le **label « pêche durable »**. Il garantit un aliment (vivant, frais ou réfrigéré) respectueux notamment de l'écosystème marin et de l'environnement.

❖ Développer les énergies renouvelables

La loi sur la « transition énergétique et écologique pour la croissance verte » propose un nouveau modèle énergétique et prévoit notamment d'augmenter la part des énergies renouvelables (23 % de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et 32 % en 2030). Pour atteindre ces ambitieux objectifs, il est notamment nécessaire de :

- **changer nos modes de production** pour lutter contre les gaspillages ;
- **développer les véhicules électriques** et les transports propres pour préparer notre avenir sans pétrole ;
- **rénover nos immeubles et nos maisons** pour diminuer nos besoins de chauffage et d'eau chaude.

Nous devons dès maintenant changer notre consommation et prendre conscience que **chaque geste compte**. Ce sera l'ensemble de nos petits gestes qui permettra de préserver notre planète et de lutter contre le changement climatique.

Références bibliographiques

- AFP, *Incertitude autour des métaux face au développement des véhicules électriques et du stockage*, 2018.
- ALLAIN Y-M., « *La ville: un territoire nouveau pour la nature? La gestion différenciée en Europe* », Journal d'Agriculture Traditionnelle et de Botanique Appliquée, vol. XXXIX, n°2, 1997.
- ASKINS R. A., *Restoring forest disturbances to sustain populations of shrubland birds*. Restoration and Management, 1998.
- BIHOUIX P. et GUILLEBON B., *Quel futur pour les métaux ? Raréfaction des métaux : un nouveau défi pour la société*, EDP Sciences, 2010.
- COLLET P., *Affichage environnemental : premières leçons de l'expérimentation*, Actu-Environnement, 2011.
- GONZALEZ A., Ronce O., Ferriere, R., & Hochberg, M. E, *Evolutionary rescue: an emerging focus at the intersection between ecology and evolution*. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2013.
- Groupe Zones humides, 2018, *Zones Humides Infos n° 94: Pâturage traditionnel ou original en zone humide*, Le pâturage naturel, un concept peu développé en France, M. Michelot, « Zones Humides Infos n°94: Pâturage traditionnel ou original en zone humide », 2018
- Josh Donlan, *Le retour des éléphants et des lions en Amérique*, Pour la Science, n° 368, juin 2008.
- LEGRAND A. ; KEIME M.P. ; GENARD M. ; *La gestion extensive des dépendances vertes routières* ; Paris : Ministère de l'environnement - Direction de la Nature et des Paysages, ministère de l'Équipement des transports et du tourisme, Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, 1994.
- MALAVOI - Biotec (2007), *Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau*, Agence de l'eau Seine-Normandie.
- OLIVETTI E.A & Cullen J.M., *Toward a sustainable materials system*, Science, 2018.