



**Université Internationale
de Casablanca**

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

Filière Génie Civil
Cours Environnement et Ecologie
Année Universitaire 2018-2019
Semestre d'Automne

Pr Pr El Mansouri

(Version provisoire)

Tableau de Matières :

	Page
▪ Introduction générale	
▪ Chapitre 1: Le Milieu et ses éléments.	
▪ Chapitre 2: Structure et fonctionnement des écosystèmes	
▪ Chapitre 3: Interaction Environnement-Homme-Démographie et Notion de développement durable	
▪ Chapitre 4 : Environnement et ressources naturelles	
▪ Chapitre 5 : Pollution et réchauffement climatique	
▪ Chapitre 6 : Contraintes et défis de préservation de l'environnement	
▪ Chapitre 7 : Les mécanismes économiques, juridiques et réglementaires de préservation de l'environnement	
▪ Chapitre 8: Système de Management Environnemental : ISO 14001	
▪ Chapitre 9 : Droit de l'environnement	
▪ Références	
▪ Annexes : - Loi n°11-03 relative à la protection et à la mise en valeur de l'environnement -Loi relative à la gestion des déchets -Loi 10/93 sur l'eau	

INTRODUCTION

Définition

L'environnement se définit selon les approches comme: - l'ensemble des éléments, naturels ou artificiels, qui entourent un système défini, que ce soit un individu, une espèce, une entité spatiale, un site de production... ;

- l'ensemble des échanges (prélèvements, rejets, ...) entre un anthroposystème et les écosystèmes du milieu considéré ;
- l'ensemble des éléments objectifs et subjectifs qui constituent le cadre de vie d'un système défini (individu, espèce...)

Dès lors, il apparaît nettement que la dénomination générique Environnement, rassemble une multitude de thèmes (eau, air, sols, déchets, milieux naturels, paysage, bruit, énergie, aménagement de l'espace, sécurité...), concernant de nombreux secteurs (industrie, agriculture, collectivités locales, santé publique) et de multiples niveaux d'interventions (étude, conseil, expertise, contrôle, exploitation, ingénierie, maîtrise d'œuvre...).

Les missions de gestion de l'environnement consistent à identifier les besoins et contraintes de systèmes d'études déterminés (usine, mairies, entités économiques...), à chercher de nouvelles solutions pour la gestion quotidienne de leur environnement, pris au sens large.

Cela implique de savoir :

- identifier les aspects et impacts environnementaux liés à toute activité,
- analyser les exigences légales et autres se rapportant au site d'étude,
- aider à mettre en place puis à faire vivre des systèmes de management de l'environnement adaptés, simples ou plus élaborés, permettant de pallier ces impacts ou d'en limiter les effets, de réduire les émissions polluantes dans les différents compartiments environnementaux (eau, air, bruit, déchets, aménagement...), d'optimiser les outils de production et leur rapport à l'environnement...

La notion d'environnement naturel est souvent désignée par le seul mot environnement, hors comme on l'a précédemment évoqué, l'environnement ne concerne pas uniquement le patrimoine naturel qui concerne l'air, l'eau, l'atmosphère, les roches, les végétaux, les animaux (la biodiversité), et l'ensemble des phénomènes et interactions s'y déroulant, c'est-à-dire, comme tout ce qui entoure l'Homme et ses activités. Le mot environnement est à différencier du mot nature. La nature désigne l'ensemble des éléments naturels, biotiques et abiotiques, considérés seuls, alors que la notion d'environnement s'intéresse à la nature au regard des activités humaines, et aux interactions entre l'homme et la nature. Il ne faut pas confondre l'environnement et l'écologie qui est la science ayant pour objet les relations des êtres vivants avec leur environnement, ainsi qu'avec les autres êtres vivants, c'est-à-dire, l'étude des écosystèmes. Enfi, ne confondons pas l'environnement et le développement durable qui est un mode de développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs.

Historique

D'un point de vue étymologique, la notion d'environnement a beaucoup évolué au fil du temps. On trouve « environnement » dans la langue française en 1265, signifiant alors circuit, contour, puis à partir de 1487 dans le sens d'action d'environner. Deux dictionnaires du XIXe siècle attestent un emprunt à l'anglais. Le mot provient donc du verbe environner: action d'entourer. Il se réfère à l'environ, aux alentours. Le mot environnement est polysémique, c'est-à-dire qu'il a différents sens : sens de base de ce qui entoure, de cadre de vie, de voisinage, d'ambiance, ou encore de contexte. L'environnement au sens d'environnement naturel qui entoure l'homme est plus récent et s'est développé dans la seconde moitié du XXe siècle. La notion d'environnement englobe aujourd'hui l'étude des milieux naturels, les impacts de l'homme sur l'environnement et les actions engagées pour les réduire.

La notion d'environnement, puis celle de développement durables sont des notions récentes, très en vogue depuis quelques dizaines d'années et font actuellement partie des expressions de la vie

courante, aussi bien sur la langue que dans les écrits des gens de la communication. Ces deux notions sont introduites dans la politiques de la quasi-totalité des pays du monde et ont fini par devenir une partie intégrante de nos enseignements et ce, à partir de l'école primaire.

Quant au mot « écologie », il a été créé en 1866, par le biologiste allemand Ernst Haeckel, à partir de deux mots grecs : oikos qui veut dire : maison, habitat, et logos qui signifie science. L'écologie apparaît donc comme la science de l'habitat, étudiant les conditions d'existence des êtres vivants et les interactions de toute nature qui existent entre ces êtres vivants et leurs milieux. Il s'agit de comprendre les mécanismes qui permettent aux différentes espèces d'organismes de survivre et de coexister en se partageant ou en se disputant les ressources disponibles (espace, temps, énergie, matière). Par extension, l'écologie s'appuie sur des sciences connexes telles la climatologie, l'hydrologie, l'océanographie, la chimie, la géologie, la pédologie, la physiologie, la génétique, l'éthologie, ... etc. Ce qui fait de l'écologie, une science pluridisciplinaire !

Problématique

L'observation courante de notre environnement écologique et les éléments qui le constituent (air, eau, terre..), nous invitent à réfléchir sur son avenir et surtout sur le capital naturel que nous léguons aux générations futures : Des ressources hydrauliques surexploitées, de l'air pollué, des zones rurales détruites par l'envahissement de l'urbanisation, des océans et des mers polluées, des ressources minières et énergétiques maladroitement utilisées, de la faune et de la flore en voie de d'extinction... C'est malheureusement, le souvenir d'une terre agréable à vivre qui sera décrite par nos historiens et scientifiques et constituera l'unique richesse de nos générations futures. Après la sensibilisation de l'homme à tous ces problèmes environnementaux et aux dégâts de ses activités économiques sur son environnement, le passage aux actions correctives s'est avéré nécessaire. Les actions préventives à toute éventuelle destruction de notre environnement écologique sont encore plus importantes et commencent notamment par l'enseignement de l'environnement et des actions socio-économiques, dites de développement durable.

CHAPITRE 1 : Le Milieu et ses éléments

1. Notion de niche écologique

Les organismes d'une espèce donnée peuvent maintenir des populations viables seulement dans un certain registre de conditions, pour des ressources particulières, dans un environnement donné et pendant des périodes particulières. Le recoupement de ces facteurs décrit **la niche**, qui est la position que l'organisme occupe dans son environnement, comprenant les conditions dans lesquelles il est trouvé, les ressources qu'il utilise et le temps qu'il y passe.

Les organismes peuvent changer de niches quand ils se développent.

Exemple : les crapauds communs occupent un environnement aquatique (s'alimentent d'algues et de détritiques) avant de se métamorphoser en adultes, où ils deviennent terrestres (s'alimentent d'insectes).

Stade	Jeune	Adulte
Environnement	Aquatique	Terrestre
Alimentation	Algues + détritiques	Insectes

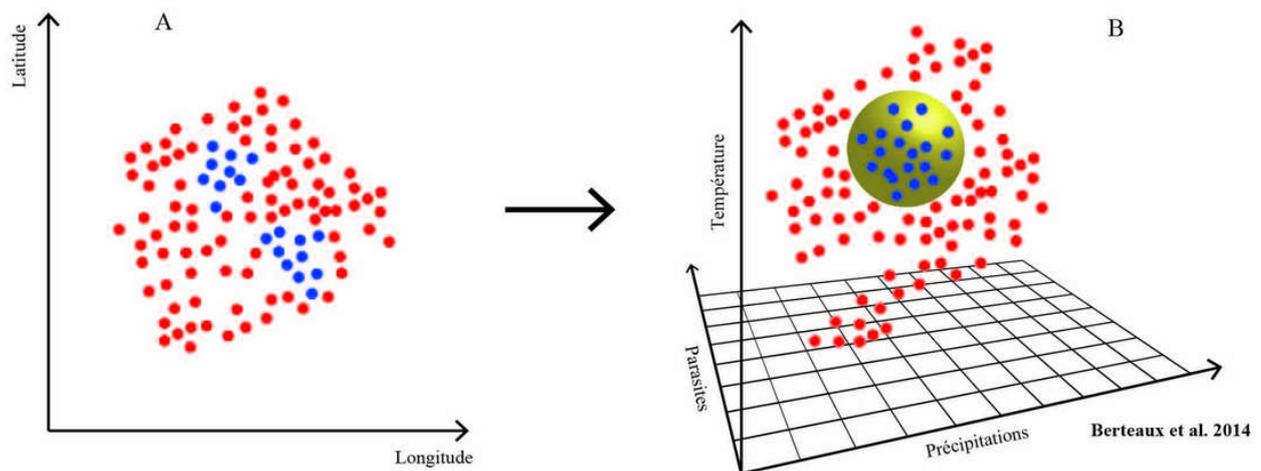


Figure 1: Représentation de la niche écologique

2. Notion d'habitat

Contrairement à la niche, l'habitat d'un organisme est l'environnement physique dans lequel un organisme est trouvé.

Les habitats contiennent beaucoup de niches et maintiennent de nombreuses espèces différentes.

Exemple : Une forêt comporte un vaste nombre de niches pour un choix de oiseaux (sitelles, bécasses), de mammifères (souris de bois, renards), d'insectes (papillons, coléoptères, pucerons) et de plantes (anémones de bois, mousses, lichen).

3. Notion de facteurs de milieu

On appelle « facteur écologique » tout élément du milieu pouvant agir directement sur les êtres vivants.

Les facteurs écologiques sont de deux types :

Facteurs abiotiques : ensemble des caractéristiques physico-chimiques du milieu tel que les facteurs climatiques (température, pluviosité, lumière, vent...), édaphiques (texture et structure du sol, composition chimique,...)...

Facteurs biotiques : ensemble des interactions qui existent entre des individus de la même espèce ou d'espèces différentes : prédation, parasitisme, compétition, symbiose, commensalisme, ...etc.

4. Interaction du milieu et des êtres vivants

Les réactions des êtres vivants face aux variations des facteurs physico-chimiques du milieu intéressent la morphologie, la physiologie, le comportement.

Les êtres vivants sont éliminés totalement, ou bien leurs effectifs sont fortement réduits lorsque l'intensité des facteurs écologiques est proche des limites de tolérance ou les dépasse.

A- Loi de tolérance (intervalle de tolérance)

Énoncée par Shelford en 1911, la loi de la tolérance stipule que pour tout facteur de l'environnement existe un domaine de valeurs (ou intervalle de tolérance) dans lequel tout processus écologique sous la dépendance de ce facteur pourra s'effectuer normalement. C'est seulement à l'intérieur de cet intervalle que la vie de tel ou tel organisme, population ou biocénose est possible. La borne inférieure le long de ce gradient délimite la mort par carence, la borne supérieure délimite la mort par toxicité. À l'intérieur de l'intervalle de tolérance, existe une valeur optimale, dénommée « préférendum » ou « optimum écologique » pour lesquelles le métabolisme de l'espèce ou de la communauté considérée s'effectue à une vitesse maximale (Figure ci-dessous).

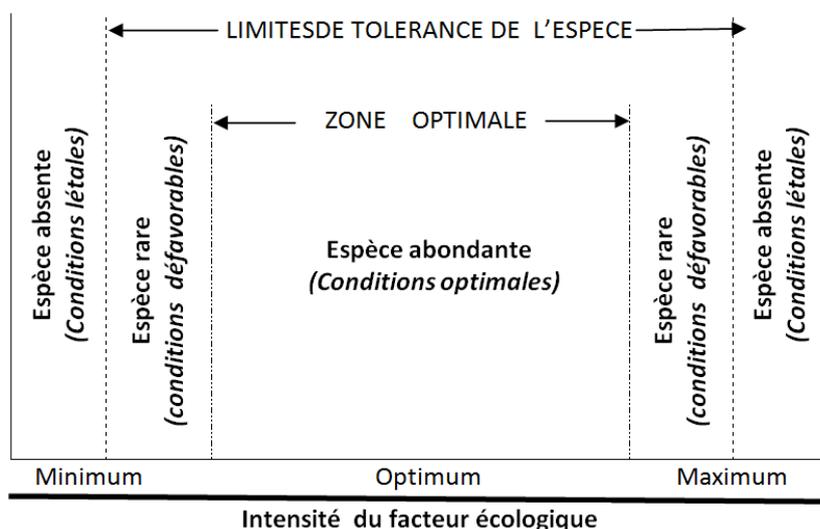


Figure 2: Limites de tolérance d'une espèce en fonction de l'intensité du facteur écologique étudié. (L'abondance de l'espèce est maximale au voisinage de l'optimum écologique).

La valence écologique d'une espèce représente sa capacité à supporter les variations plus ou moins grandes d'un facteur écologique. Elle représente la capacité à coloniser ou à peupler un biotope donné.

- Une espèce à forte valence écologique c'est-à-dire capable de peupler des milieux très différents et supporter des variations importantes de l'intensité des facteurs écologiques, est dite **euryèce**.
- Une espèce à faible valence écologique ne pourra supporter que des variations limitées des facteurs écologiques, elle est dite **sténoèce**.
- Une espèce à valence écologique moyenne, est dite **mesoèce**.

B- Loi du minimum

On doit à Liebig (1840) la loi du minimum qui stipule que la croissance d'un végétal n'est possible que dans la mesure où tous les éléments indispensables pour l'assurer sont présents en quantités suffisantes dans le sol. Ce sont les éléments déficitaires (dont la concentration est inférieure à une valeur minimum) qui conditionnent et limitent la croissance.

La loi de Liebig est généralisée à l'ensemble des facteurs écologiques sous forme d'une loi dite « loi des facteurs limitant ».

C- Facteur limitant

Un facteur écologique joue le rôle d'un facteur limitant lorsqu'il est absent ou réduit au-dessous d'un seuil critique ou bien s'il excède le niveau maximum tolérable. C'est le facteur limitant qui empêchera l'installation et la croissance d'un organisme dans un milieu.

I_FACTEURS ABIOTIQUES

A- Facteurs climatiques

1. Définition du climat

Le climat est l'ensemble des conditions atmosphériques et météorologiques propres à une région du globe. Le climat d'une région est déterminé à partir de l'étude des paramètres météorologiques (température, taux d'humidité, précipitations, force et direction du vent, durée d'insolation, etc.) évalués sur plusieurs dizaines d'années.

2. Principaux facteurs climatiques

Les éléments du climat qui jouent un rôle écologique sont nombreux. Les principaux sont la température, l'humidité et la pluviosité, l'éclairement et la photopériode (répartition dans la journée, entre la durée de la phase diurne et celle de la phase obscure). D'autres, comme le vent et la neige, ont une moindre importance, mais ils peuvent dans certains cas avoir un rôle non négligeable.

2.1. Température

La température est l'élément du climat le plus important étant donné que tous les processus métaboliques en dépendent. Des phénomènes comme la photosynthèse, la respiration, la digestion suivent la loi de van't Hoff qui précise que la vitesse d'une réaction est fonction de la température.

La grande majorité des êtres vivants ne peut subsister que dans un intervalle de températures comprise entre 0 et 50°C en moyenne. Les températures trop basses ou trop élevées déclenchent chez certains animaux un état de dormance (quiescence) appelé estivation ou hibernation. Dans les deux cas, le développement est quasiment arrêté.

Les limites des aires de répartition géographique sont souvent déterminées par la température qui agit comme facteur limitant. Très souvent ce sont les températures extrêmes plutôt que les moyennes qui limitent l'installation d'une espèce dans un milieu.

2.2. Humidité et pluviosité

L'eau représente de 70 à 90% des tissus de beaucoup d'espèces en état de vie active. L'approvisionnement en eau et la réduction des pertes constituent des problèmes écologiques et physiologiques fondamentaux. En fonction de leurs besoins en eaux, et par conséquent de leur répartition dans les milieux, on distingue :

- Des espèces aquatiques qui vivent dans l'eau en permanence (ex : poissons) ;
- Des espèces hygrophiles qui vivent dans des milieux humides (ex : amphibiens) ;
- Des espèces mésophiles dont les besoins en eau sont modérés et qui supportent des alternances de saison sèche et de saison humide;
- Des espèces xérophiles qui vivent dans les milieux secs où le déficit en eau est accentué (espèces des déserts).

Les êtres vivants s'adaptent à la sécheresse selon des modalités très variées :

Chez les végétaux

- Réduction de l'évapotranspiration par développement de structures cuticulaires imperméables.
- Réduction du nombre de stomates.
- Réduction de la surface des feuilles qui sont transformées en écailles ou en épines.
- Les feuilles tombent à la saison sèche et se reforment après chaque pluie.
- Le végétal assure son alimentation en eau grâce à un appareil souterrain puissant.
- Mise en réserve d'eau dans les tissus aquifères associés à une bonne protection épidermique.

Chez les animaux

- Utilisation de l'eau contenue dans les aliments.
- Réduction de l'excrétion de l'eau par émission d'une urine de plus en plus concentrée.
- Utilisation de l'eau du métabolisme formée par l'oxydation des graisses (dromadaire).

2.3. Lumière et ensoleillement

L'ensoleillement est défini comme étant la durée pendant laquelle le soleil a brillé. Le rayonnement solaire est composé essentiellement de lumière visible, de rayons Infrarouge et de rayons Ultraviolet. L'éclairement a une action importante non seulement par son intensité et sa nature (longueur d'onde) mais aussi par la durée de son action (photopériode). La photopériode croît de l'Equateur vers les Pôles. A l'Equateur, les jours sont rigoureusement égaux aux nuits, pendant toute l'année. Aux Tropiques, l'inégalité reste faible et pratiquement sans influence. Aux très hautes latitudes, c'est-à-dire au-delà du cercle polaire, nuits et jours dépassent les 24h, pour atteindre 6 mois de jours et 6 mois de nuit aux Pôles mêmes. L'atmosphère joue le rôle d'écran ou mieux de filtre en arrêtant certaines radiations et en laissant passer d'autres. En effet, l'atmosphère absorbe une part du rayonnement solaire, et diffuse une autre portion. A ces deux actions s'ajoute un phénomène de réflexion.

Action sur les végétaux

Les végétaux sont adaptés à l'intensité et à la durée de l'éclairement. Cette adaptation est importante lorsque les végétaux passent du stade végétatif (phase de croissance et de développement) au stade reproductif (floraison).

Les végétaux peuvent être divisés en trois catégories :

- **Les végétaux de jours courts** : ils ne fleuriront que si la photopériode au moment de l'éclosion des bourgeons est inférieure ou égale à 12h d'éclairement.
- **Les végétaux de jours longs** : qui ont besoin pour fleurir d'au moins 12h d'éclairement.
- **Les indifférents** : la durée d'éclairement ne joue aucun rôle dans la floraison.

Action sur les animaux

Chez les animaux, le rôle essentiel de la photopériode réside dans l'entretien des rythmes biologiques saisonniers, quotidiens (circadiens) ou lunaires.

- **Rythmes biologiques saisonniers** : ils sont de deux types :
 - **Rythme de reproduction chez les vertébrés** : ils ont pour résultat de faire coïncider la période de reproduction avec la saison favorable.
 - **Diapause** : la photopériode est le facteur essentiel qui déclenche chez l'animal l'entrée en diapause avant que ne survienne la saison défavorable.

- **Rythmes quotidiens ou circadiens**

Il s'agit de rythmes dont la période est égale à 24h. Ils sont entretenus par un mécanisme interne mal connu appelé « horloge biologique », dont le réglage est conditionné par l'éclairement et la température.

- **Rythmes lunaires**

Il s'agit de rythmes d'activité déclenchés par la lumière lunaire. Ils sont surtout connus chez les animaux marins.

2.4. Vent

Le vent résulte du mouvement de l'atmosphère entre les hautes et basses pressions. L'impact de ce facteur sur les êtres vivants peut se résumer comme suit :

- Il a un pouvoir desséchant car il augmente l'évaporation.
- Il a aussi un pouvoir de refroidissement considérable.
- Le vent est un agent de dispersion des animaux et des végétaux.
- L'activité des insectes est ralentie par le vent.

- Les coups de vent, en abattant des arbres en forêt, créent des clairières dans lesquelles des jeunes arbres peuvent se développer.
- Le vent a un effet mécanique sur les végétaux qui sont couchés au sol et prennent des formes particulières appelées anémomorphose.

2.5. Neige

C'est un facteur écologique important en montagne. La couverture de neige protège le sol du refroidissement. Sous un mètre de neige, la température du sol est de $-0,6^{\circ}\text{C}$, alors qu'elle est de $-33,7^{\circ}\text{C}$ à la surface.

B- Facteurs édaphiques

1. Définition du sol

Le sol est un milieu vivant complexe et dynamique, défini comme étant la formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus : physiques, chimiques et biologiques, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants. Il est formé d'une fraction minérale et de matière organique. Végétaux et animaux puisent du sol l'eau et les sels minéraux et trouvent l'abri et/ou le support indispensable à leur épanouissement.

2. Les facteurs édaphiques

2.1. La texture du sol

La texture du sol est définie par la grosseur des particules qui le composent : graviers, sables, limons, argiles (granulométrie : mesure de la forme, de la dimension et de la répartition en différentes classes des grains et des particules de la matière divisée) :

Particule	Diamètre
Graviers	$>2\text{ mm}$
Sables grossiers	$2\text{ mm à }0,2\text{ mm}$
Sables fins	$0,2\text{ mm à }20\text{ }\mu\text{m}$
Limons	$20\text{ }\mu\text{m à }2\text{ }\mu\text{m}$
Argiles	$< 2\text{ }\mu\text{m}$

En fonction de la proportion de ces différentes fractions granulométriques, on détermine les textures suivantes :

- **Textures fines** : comportent un taux élevé d'argile ($>20\%$) et correspondent à des sols dits « lourds », difficiles à travailler, mais qui présentent un optimum de rétention d'eau.
- **Textures sableuses ou grossières** : elles caractérisent les sols légers manquant de cohésion et qui ont tendance à s'assécher saisonnièrement.
- **Textures moyennes** : on distingue deux types :
 - Les limons argilo-sableux qui ne contiennent pas plus de 30 à 35% de limons, qui ont une texture parfaitement équilibrée et qui correspondent aux meilleures terres dites « franches ».
 - Les sols à texture limoneuse, qui contiennent plus de 35% de limons, sont pauvres en humus (matière organique du sol provenant de la décomposition partielle des matières animales et végétales).

Sur le plan biologique, la granulométrie intervient dans la répartition des animaux et des eaux souterraines. Nombreux organismes tels que les vers de terre préfèrent les sols limoneux ou argilo-sableux, tout comme quelques espèces de coléoptères qui préfèrent les sols argileux et/ou limoneux, présentant une teneur élevée en éléments fins et qui ont la faculté de retenir l'eau nécessaire, contrairement aux éléments grossiers qui permettent une dessiccation trop rapide du sol.

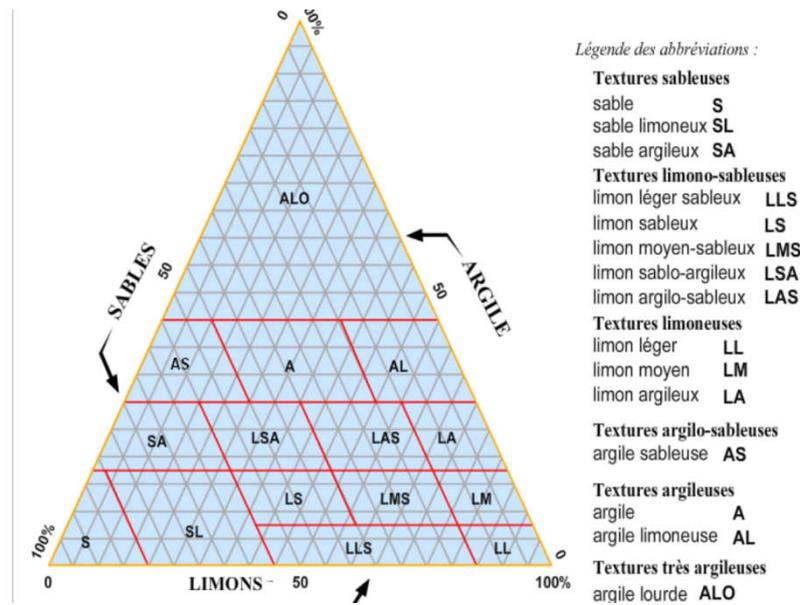


Figure 3: Critères d'identification de la texture du sol.

2.2. La structure du sol

La structure est l'organisation du sol. Elle se définit également comme étant l'arrangement spatial des particules de sables, de limons et d'argiles. On distingue principalement trois types de structures :

- **Particulaire** : où les éléments du sol ne sont pas liés, le sol est très meuble (sols sableux).
- **Massive** : où les éléments du sol sont liés par des ciments (matière organique, calcaire) durcies en une masse très résistante discontinue ou continue (sols argileux). Ce type de sol est compact et peu poreux. Il empêche cependant, les migrations verticales des animaux sensibles à la température et à l'humidité et ainsi en interdisent l'existence.
- **Fragmentaire** : où les éléments sont liés par des matières organiques et forment des agrégats (Assemblage hétérogène de substances ou d'éléments qui adhèrent solidement entre eux) de tailles plus ou moins importantes. Cette structure est la plus favorable à la vie des êtres vivants, car elle comporte une proportion suffisante de vides ou de pores qui favorisent la vie des racines et l'activité biologique en général, en permettant la circulation de l'air et de l'eau.

2.3. L'eau du sol

L'eau est présente dans le sol sous quatre états particuliers:

- **L'eau hygroscopique** : provient de l'humidité atmosphérique et forme une mince pellicule autour des particules du sol. Elle est retenue très énergiquement et ne peut être utilisée par les organismes vivants.
- **L'eau capillaire non absorbable** : occupe les pores d'un diamètre inférieur à 0,2 mm. Elle est également retenue trop énergiquement pour être utilisée par les organismes vivants. Seuls certains organismes très adaptés peuvent l'utiliser.
- **L'eau capillaire absorbable** : située dans les pores dont les dimensions sont comprises entre 0,2 et 0,8mm. Elle est absorbée par les végétaux et elle permet l'activité des bactéries et des petits Protozoaires comme les flagellés.
- **L'eau de gravité** : occupe de façon temporaire les plus grands pores du sol. Cette eau s'écoule sous l'action de la pesanteur.

2.4. Le pH du sol

Le pH du sol est la résultante de l'ensemble de divers facteurs pédologiques. En effet, la solution du sol contient des ions H^+ provenant de :

- L'altération de la roche mère
- L'humification de la matière organique (synthèse d'acide humique)
- L'activité biologique

- L'effet des engrais acidifiants

Le pH dépend également de la nature de la couverture végétale et des conditions climatiques (température et pluviosité) :

- les pH basiques (supérieurs à 7,5) caractérisent les sols qui se développent sur une roche mère calcaire. On les rencontre généralement dans les climats secs ou saisonnièrement secs et sous une végétation présentant des feuilles à décomposition rapide.
- Les pH acides (entre 4 et 6,5) se rencontrent beaucoup plus sous les climats humides et froids favorables à une accumulation de la matière organique. Ils caractérisent les forêts de conifères. Ils se forment surtout sur les roches siliceuses et les roches granitiques.

Les organismes vivants tels que les Protozoaires supportent des variations de pH de 3,9 à 9,7 suivant les espèces : certaines sont plutôt **acidophiles** alors que d'autres sont **basophiles**. Les **neutrophiles** sont les plus représentées dans la nature.

2.5. La composition chimique

Les divers types de sols ont des compositions chimiques très variées. Les éléments les plus étudiés en ce qui concerne leur action sur la faune et la flore sont les chlorures et le calcium.

Les sols salés, ayant des teneurs importantes en chlorure de sodium, ont une flore et une faune très particulière. Les plantes des sols salés sont des **halophytes**.

En fonction de leurs préférences, les plantes sont classées en **calcicoles** (espèces capables de supporter des teneurs élevées en calcaire), et **calcifuges** (espèces qui ne supportent que de faibles traces de calcium).

Quant aux animaux, le calcium est nécessaire pour beaucoup d'animaux du sol.

Les sols dits anormaux renferment de fortes concentrations d'éléments plus ou moins toxiques : soufre, magnésium...etc. Les métaux lourds exercent sur la végétation une action toxique qui entraîne la sélection d'espèces dites **toxico-résistantes** ou **métallophytes** formant des associations végétales particulières.

II_FACTEURS BIOTIQUES

Les facteurs biotiques sont l'ensemble des actions que les organismes vivants exercent directement les uns sur les autres. Ces interactions, appelées coactions, sont de deux types :

- **Homotypiques** ou intraspécifiques, lorsqu'elles se produisent entre individus de la même espèce.
- **Hétérotypiques** ou interspécifiques, lorsqu'elles ont lieu entre individus d'espèces différentes.

1. Coactions homotypiques

1.1. L'effet de groupe

On parle d'effet de groupe lorsque des modifications ont lieu chez des animaux de la même espèce, quand ils sont groupés par deux ou plus de deux. L'effet de groupe est connu chez de nombreuses espèces d'insectes ou de vertébrés, qui ne peuvent se reproduire normalement et survivre que lorsqu'elles sont représentées par des populations assez nombreuses.

Exemple : On estime qu'un troupeau d'éléphants d'Afrique doit renfermer au moins 25 individus pour pouvoir survivre : la lutte contre les ennemis et la recherche de la nourriture sont facilitées par la vie en commun.

1.2. L'effet de masse

A l'inverse de l'effet de groupe, l'effet de masse se produit, quand le milieu, souvent surpeuplé, provoque une compétition sévère aux conséquences néfastes pour les individus. Les effets néfastes de ces compétitions ont des conséquences sur le métabolisme et la physiologie des individus qui se traduisent par des perturbations, comme la baisse du taux de fécondité, la diminution de la natalité, l'augmentation de la mortalité. Chez certains organismes, le surpeuplement entraîne des phénomènes appelés phénomènes d'**autoélimination**.

1.3. La compétition intraspécifique

Ce type de compétition peut intervenir pour de très faibles densités de population, et se manifeste de façons très diverses :

- Apparaît dans les comportements territoriaux, c'est-à-dire lorsque l'animal défend une certaine surface contre les incursions des autres individus.
- Le maintien d'une hiérarchie sociale avec des individus dominants et des individus dominés.
- La compétition alimentaire entre individus de la même espèce est intense quand la densité de la population devient élevée. Sa conséquence la plus fréquente est la baisse du taux de croissance des populations.

Chez les végétaux, la compétition intraspécifique, liée aux fortes densités se fait surtout pour l'eau et la lumière. Elle a pour conséquence une diminution du nombre de graines formées et/ou une mortalité importante qui réduit fortement les effectifs.

2. Coactions hétérotypiques

La cohabitation de deux espèces peut avoir sur chacune d'entre elles une influence nulle, favorable ou défavorable.

2.1. Le neutralisme

On parle de neutralisme lorsque les deux espèces sont indépendantes : elles cohabitent sans avoir aucune influence l'une sur l'autre.

2.2. La compétition interspécifique

La compétition interspécifique peut être définie comme étant la recherche active, par les membres de deux ou plusieurs espèces, d'une même ressource du milieu (nourriture, abri, lieu de ponte, etc...).

Dans la compétition interspécifique, chaque espèce agit défavorablement sur l'autre. La compétition est d'autant plus grande entre deux espèces qu'elles sont plus voisines.

Cependant, deux espèces ayant exactement les mêmes besoins ne peuvent cohabiter, l'une d'elle étant forcément éliminée au bout d'un certain temps. C'est le principe de Gause ou principe d'exclusion compétitive.

2.3. La prédation

Le prédateur est tout organisme libre qui se nourrit et dépend d'un autre. Il tue sa proie pour la manger. Les prédateurs peuvent être polyphages (s'attaquant à un grand nombre d'espèces), oligophages (se nourrissant de quelques espèces), ou monophages (ne subsistant qu'au dépend d'une seule espèce).

2.4. Le parasitisme

Le parasite est un organisme qui ne mène pas une vie libre : il est au moins, à un stade de son développement, lié à la surface (ectoparasite) ou à l'intérieur (endoparasite) de son hôte.

On peut considérer le parasitisme comme un cas particulier de la prédation. Cependant, le parasite n'est pas vraiment un prédateur car il n'a pas pour but de tuer l'hôte. Le parasite doit s'adapter pour rencontrer l'hôte et survivre au détriment de ce dernier. L'hôte doit s'adapter pour ne pas rencontrer le parasite et s'en débarrasser si la rencontre a eu lieu. Tout comme les prédateurs, les parasites peuvent être polyphages, oligophages ou monophages.

2.5. Le commensalisme

Interaction entre une espèce, dite commensale, qui en tire profit de l'association et une espèce hôte qui n'en tire ni avantage ni nuisance. Les deux espèces exercent l'une sur l'autre des coactions de tolérance réciproque.

Exemple : Les animaux qui s'installent et qui sont tolérés dans les gîtes des autres espèces.

2.6. Le mutualisme

C'est une interaction dans laquelle les deux partenaires trouvent un avantage, celui-ci pouvant être la protection contre les ennemis, la dispersion, la pollinisation, l'apport de nutriments...

Exemple : Les graines des arbres doivent être dispersées au loin pour survivre et germer. Cette dispersion est l'œuvre d'oiseaux, de singes...qui en tirent profit de l'arbre (alimentation, abri...).

L'association obligatoire et indispensable entre deux espèces est une forme de mutualisme à laquelle on réserve le nom de symbiose. Dans cette association, chaque espèce ne peut survivre, croître et se développer qu'en présence de l'autre.

Exemple : Les lichens sont formés par l'association d'une algue et d'un champignon.

2.7. L'amensalisme

C'est une interaction dans laquelle une espèce est éliminée par une autre espèce qui secrète une substance toxique. Dans les interactions entre végétaux, l'amensalisme est souvent appelé **allélopathie**.

Exemple : Le Noyer rejette par ses racines, une substance volatile toxique, qui explique la pauvreté de la végétation sous cet arbre.

CHAPITRE 2 : Structure et fonctionnement des écosystèmes

1. La biosphère et ses constituants

Biosphère signifie, littéralement, sphère de la vie, c'est-à-dire l'ensemble de la vie terrestre. Les êtres vivants sont localisés sur une couche étroite à la surface de la Terre. Celle-ci comprend **la basse atmosphère**, Les océans, mers, lacs et cours d'eau que l'on regroupe sous le nom d'**hydrosphère** et la mince pellicule superficielle des terres émergées appelés **lithosphère**.

L'épaisseur de la biosphère varie considérablement d'un point à un autre puisque la vie pénètre jusque dans les fosses océaniques au-delà de 10 000 m de profondeur alors que dans la lithosphère, on ne trouve guère trace de vie au-delà d'une dizaine de mètres. Dans l'atmosphère, par suite de la raréfaction de l'oxygène, les êtres vivants se font plus rares avec l'altitude et vivent rarement à plus de 10 000 m.

La source majeure d'énergie dans la biosphère est le soleil. L'autre source importante est l'énergie géothermique. Grâce à la photosynthèse, les plantes transforment l'énergie solaire en énergie chimique, et les animaux en mangeant ces plantes ou en se mangeant entre eux, la récupèrent.

2. Organisation de la biosphère

Le niveau le plus élémentaire d'organisation du vivant est la cellule. Celle-ci est intégrée dans l'individu qui s'intègre dans une population. La population fait partie d'une communauté ou biocénose. La biocénose s'intègre à son tour dans l'écosystème. L'ensemble des écosystèmes forment la biosphère qui est le niveau le plus élevé du vivant.

Un écosystème est constitué par l'ensemble des êtres vivants (biocénose) et du milieu dans lequel ils vivent (biotope).

Le biotope fournit l'énergie, la matière organique et inorganique d'origine abiotique. La biocénose comporte trois catégories d'organismes : des **producteurs** de matières organiques, des **consommateurs** de cette matière et des **décomposeurs** qui la recyclent. Les végétaux captent l'énergie solaire et fabriquent des glucides qui seront transformés en d'autres catégories de produits, ils seront broutés par les **herbivores** qui seront dévorés par des **carnivores**. Les **décomposeurs** consomment les déchets et les cadavres de tous et permettent ainsi le retour au milieu de diverses substances. Par son unité, son organisation et son fonctionnement, l'écosystème apparaît comme le maillon de base de la biosphère.

3. La chaîne trophique

3.1. Définitions

Une chaîne trophique ou chaîne alimentaire est une succession d'organismes dont chacun vit au dépend du précédent. Tout écosystème comporte un ensemble d'espèces animales et végétales qui peuvent être réparties en trois groupes : les producteurs, les consommateurs et les décomposeurs.

3.1.1. Les producteurs

Ce sont les végétaux autotrophes photosynthétiques (plantes vertes, phytoplancton : cyanobactéries ou algues bleues : organisme procaryote). Ayant le statut de producteurs primaires, ils constituent le premier niveau trophique de l'écosystème. En effet, grâce à la photosynthèse ils élaborent la matière organique à partir de matières strictement minérales fournies par le milieu extérieur abiotique.

3.1.2. Les consommateurs

Il s'agit d'êtres vivants, dits hétérotrophes, qui se nourrissent des matières organiques complexes déjà élaborées qu'ils prélèvent sur d'autres êtres vivants. Ils se considèrent comme étant des producteurs secondaires. Les consommateurs occupent un niveau trophique différent en fonction de leur régime alimentaire. On distingue les consommateurs de matière fraîche et les consommateurs de cadavres.

a- **Les consommateurs de matière fraîche**, il s'agit de :

- **Consommateurs primaires (C1)** : Ce sont les phytophages qui mangent les producteurs. Ce sont en général des animaux, appelés herbivores (mammifères herbivores, insectes, crustacés : crevette), mais aussi plus rarement des parasites végétaux et animaux des plantes vertes.
- **Consommateurs secondaires (C2)** : Prédateurs de C1. Il s'agit de carnivores se nourrissant d'herbivores (mammifères carnassiers, rapaces, insectes,...).
- **Consommateurs tertiaires (C3)** : Prédateurs de C2. Ce sont donc des carnivores qui se nourrissent de carnivores (oiseaux insectivores, rapaces, insectes,...).

Le plus souvent, un consommateur est omnivore et appartient donc à plusieurs niveaux trophiques. Les C₂ et les C₃ sont soit des prédateurs qui capturent leurs proies, soit des parasites d'animaux.

b- Les consommateurs de cadavres d'animaux

Les **charognards** ou **nécropages** désignent les espèces qui se nourrissent des cadavres d'animaux frais ou décomposés. Ils terminent souvent le travail des carnivores. **Exemple** : Chacal, Vautour,...

3.1.3. Les décomposeurs ou détritivores

Les décomposeurs sont les différents organismes et microorganismes qui s'attaquent aux cadavres et aux excréta et les décomposent peu à peu en assurant le retour progressif au monde minéral des éléments contenus dans la matière organique.

- **Saprophyte** : Organisme végétal se nourrissant de matières organiques en cours de décomposition.
Exemple: Champignons.
- **Saprophage** : Organisme animal qui se nourrit de matières organiques en cours de décomposition.
Exemple : Bactéries.
- **Détritivore** : Invertébré qui se nourrit de détritus ou débris d'animaux et/ou de végétaux.
Exemple : Protozoaires, lombrics, nématodes, cloportes.
- **Coprofage** : Animal qui se nourrit d'excréments.
Exemple : Bousier.

Producteurs primaires, consommateurs et décomposeurs sont liés par une chaîne alimentaire. Le caractère cyclique de la chaîne est assuré par les décomposeurs.

3.1.4. Les fixateurs d'azote

Ils ont une position particulière dans la chaîne trophique. Leur nutrition azotée se fait à partir de l'azote moléculaire. Quant au carbone et à l'énergie nécessaire à leur nutrition, ils utilisent des matières organiques plus élaborées qu'ils prennent à certains détritus ou à des racines ou feuilles des autotrophes. Ils sont donc autotrophes pour ce qui est de l'azote et hétérotrophes du point de vue carbone. C'est le cas des Azotobacter en fixation non symbiotique et les Rhizobiums en fixation symbiotique.

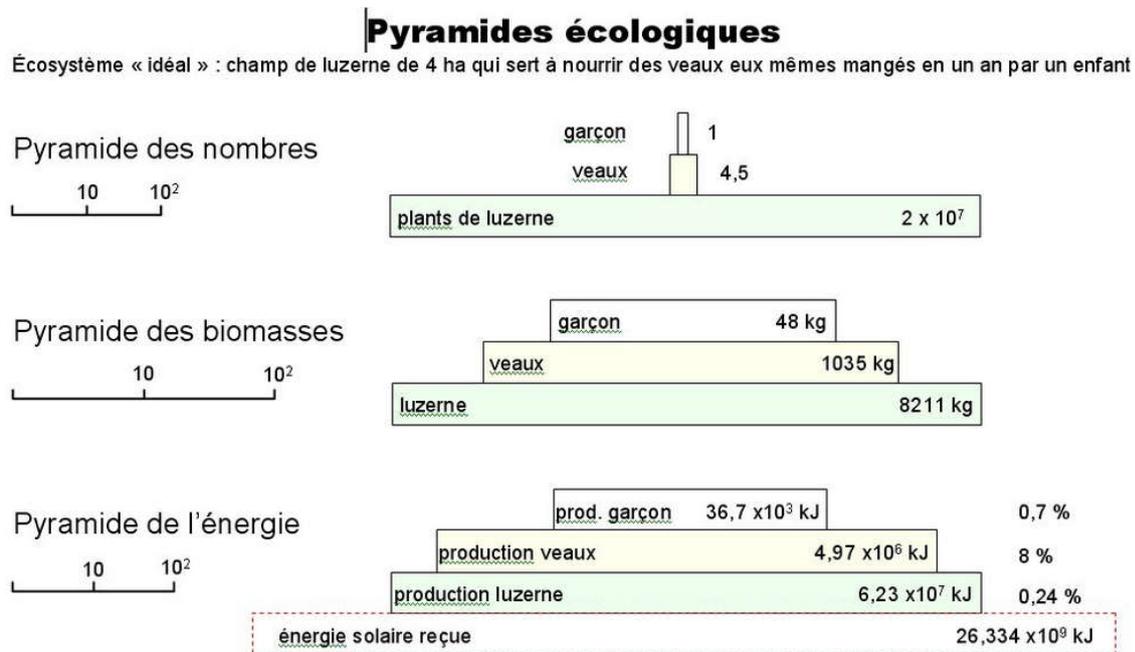
3.2. Différents types de chaînes trophiques

Il existe trois principaux types de chaînes trophiques linéaires :

- **Chaîne de prédateurs**
Dans cette chaîne, le nombre d'individus diminue d'un niveau trophique à l'autre, mais leurs tailles augmentent (règle d'Elton énoncée en 1921).
Exemple : (100) Producteurs + (3) Herbivores + (1) Carnivore.
- **Chaîne de parasites**
Cela va au contraire d'organismes de grandes tailles vers des organismes plus petits, mais de plus en plus nombreux (la règle d'Elton n'est pas vérifiée dans ce cas).
Exemple : (50) Herbes + (2) Mammifères herbivores + (80) Pucés + (150) Leptomonas.
- **Chaîne de détritivores**
Va de la matière organique morte vers des organismes de plus en plus petits (microscopiques) et nombreux (la règle d'Elton n'est pas vérifiée dans ce cas).
Exemple : (1) Cadavre + (80) Nématodes + (250) Bactéries.

3.3. Représentation graphique des chaînes trophiques

La schématisation de la structure des biocénoses est généralement conçue à l'aide de pyramides écologiques, qui correspondent à la superposition de rectangles horizontaux de même hauteur, mais de longueurs proportionnelles au nombre d'individus, à la biomasse ou à la quantité d'énergie présentes dans chaque niveau trophique. On parle alors de pyramide des nombres, des biomasses ou des énergies (Fig.02).



Source : Alain Gallien : Professeur de SVT au lycée du Clos Maire à Beaune (Côte d'Or) http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php?id_article=1830
d'après E.P. Odum (1959) repris par P. Duvigneaud, la synthèse écologique- éditions Doin- 1980

Figure 4 : Diverse schématisation des pyramides écologiques.

3.4. Le réseau trophique

Le réseau trophique se définit comme un ensemble de chaînes alimentaires reliées entre elles au sein d'un écosystème et par lesquelles l'énergie et la matière circulent. Il se définit également comme étant l'ensemble des relations trophiques existant à l'intérieur d'une biocénose entre les diverses catégories écologiques d'êtres vivants constituant cette dernière (producteurs, consommateurs et décomposeurs).

4. Transfert d'énergie et rendements

4.1. Définitions

- **Productivité brute (PB):** Quantité de matière vivante produite pendant une unité de temps, par un niveau trophique donné.
- **Productivité nette (PN):** Productivité brute moins la quantité de matière vivante dégradée par la respiration ($PN = PB - R$).
- **Productivité primaire :** Productivité nette des autotrophes chlorophylliens.
- **Productivité secondaire :** Productivité nette des herbivores, des carnivores et des décomposeurs.

4.2. Transfert d'énergie

Les relations trophiques qui existent entre les niveaux d'une chaîne trophique se traduisent par des transferts d'énergie d'un niveau à l'autre.

- Une partie de la lumière solaire absorbée par le végétal est dissipée sous forme de chaleur.
- Le reste est utilisé pour la synthèse de substances organiques (photosynthèse) et correspond à la Productivité primaire Brute (**PB**).

- Une partie de **(PB)** est perdue pour la **Respiration (R1)**.
- Le reste constitue la **Productivité primaire Nette (PN)**.
- Une partie de **(PN)** sert à l'augmentation de la biomasse végétale avant d'être la proie des bactéries et des autres décomposeurs.
- Le reste de **(PN)**, sert d'aliment aux herbivores qui absorbent ainsi une quantité d'énergie **Ingérée (I1)**.
- La quantité d'énergie ingérée **(I1)** correspond à ce qui réellement utilisé ou **Assimilé (A1)** par l'herbivore, plus ce qui est rejeté (**Non Assimilée (NA1)**) sous la forme d'excréments et de déchets : **I1 = A1 + NA1**
- La fraction assimilée **(A1)** sert d'une part à la **Productivité Secondaire (PS1)** et d'autre part aux dépenses **Respiratoires (R2)**.
- On peut continuer le même raisonnement pour les carnivores.

Ainsi, du soleil aux consommateurs (1^{er}, 2^{ème} ou 3^{ème} ordre), l'énergie s'écoule de niveau trophique en niveau trophique, diminuant à chaque transfert d'un chaînon à un autre. On parle donc de flux d'énergie. Le flux d'énergie qui traverse un niveau trophique donné correspond à la totalité de l'énergie assimilée à ce niveau, c'est-à-dire à la somme de la productivité nette et des substances perdues par la respiration.

Dans le cas des producteurs primaires, ce flux est : **PB = PN + R1**.

Le flux d'énergie qui traverse le niveau trophique des herbivores est : **A1 = PS1 + R2**.

Plus on s'éloigne du producteur primaire, plus la production de matière vivante est faible (**Fig.03**).

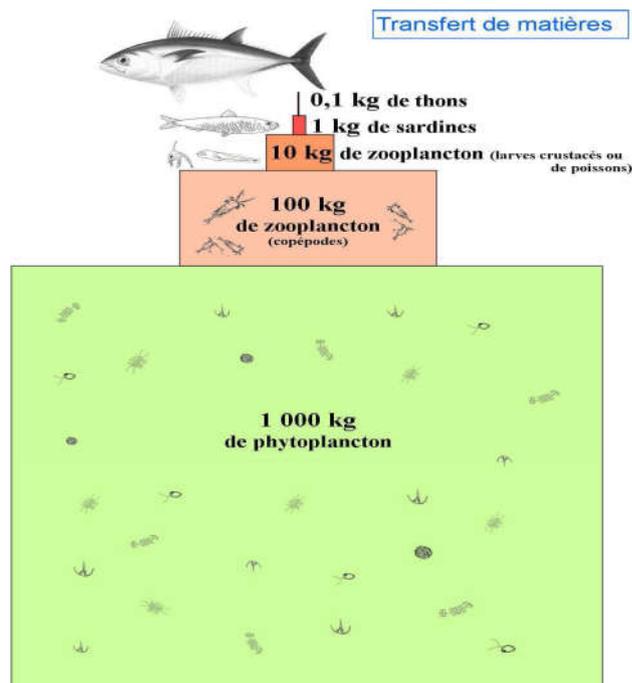


Figure 5: Biomasse des différents niveaux d'une chaîne alimentaire : le passage d'un niveau alimentaire à un autre entraîne une perte de matière considérable.

4.3. Les rendements

A chaque étape du flux, de l'organisme mangé à l'organisme mangeur et à l'intérieur de chacun d'eux, de l'énergie est perdue. On peut donc caractériser les divers organismes du point de vue bioénergétique, par leur aptitude à diminuer ces pertes d'énergie. Cette aptitude est évaluée par les calculs de rendements :

- **Rendement écologique :** C'est le rapport de la production nette du niveau trophique de rang (n) à la production nette du niveau trophique de rang (n-1) : **(PS1/PN x 100)** ou **(PS2/PS1 x 100)**.
- **Rendement d'exploitation :** C'est le rapport de l'énergie ingérée **(I)** à l'énergie disponible. C'est la production nette de la proie : **(I1/PN x 100)** ou **(I2/PS1x 100)**.

- **Rendement de production nette** : Qui est le rapport de la production nette à l'énergie assimilée : **(PS2/A2x100)** ou **(PS1/A1x100)**. Ce rendement intéresse les éleveurs, car il exprime la possibilité pour une espèce de former la plus grande quantité possible de viande à partir d'une quantité donnée d'aliments.

4.4. Stabilité des écosystèmes

Les ressources disponibles, régulées par les facteurs physico-chimiques du milieu, contrôlent les chaînes trophiques depuis les producteurs jusqu'aux prédateurs. C'est la théorie du contrôle des communautés par les ressources (éléments nutritifs), ou **contrôle bottom-up** (du bas vers le haut).

Exemple : La relation existante entre la teneur en phosphates des océans + la quantité des planctons + taille des poissons qui s'en nourrissent.

A l'inverse, le fonctionnement d'un écosystème dépend de la prédation exercée par les niveaux trophiques supérieurs sur les niveaux trophiques inférieurs. **C'est le contrôle top-down.**

Exemple : Effet régulateur d'une population de carnivores (loups) sur une population de proies (lièvres).

Les deux contrôles interviennent simultanément dans les écosystèmes et peuvent être complémentaires. Les modifications par l'homme d'un niveau trophique peuvent amplifier l'un ou l'autre des deux contrôles et entraîner une instabilité de l'écosystème.

Exemples :

- Augmentation des ressources en éléments nutritifs (amplification du contrôle bottom-up). Cas de la pollution organique des eaux ou eutrophisation.
- Diminution d'abondance d'un prédateur de haut niveau (amplification du contrôle top-down). Cas de la chasse ou de la pêche.

5. Les cycles biogéochimiques

Il existe une circulation de la matière dans chaque écosystème où des molécules ou des éléments chimiques, reviennent sans cesse à leur point de départ et que l'on peut qualifier de cyclique, à la différence des transferts d'énergie. Le passage alternatif des éléments, ou molécules, entre milieu inorganique et matière vivante, est appelé cycle biogéochimique. Celui-ci correspond à un **cycle biologique** (cycle interne à l'écosystème qui correspond aux échanges entre les organismes) auquel se greffe un **cycle géochimique** (cycle de grandes dimensions, pouvant intéresser la biosphère entière et qui concernent les transports dans le milieu non vivant).

On peut distinguer trois principaux types de cycles biogéochimiques :

- Le cycle de l'eau.
- Le cycle des éléments à phase gazeuse prédominante (carbone, oxygène, azote).
- Le cycle des éléments à phase sédimentaire prédominante (phosphore, potassium etc.).

5.1. Le cycle de l'eau

Le cycle de l'eau consiste en un échange d'eau entre les différents compartiments de la Terre : l'hydrosphère, l'atmosphère et la lithosphère (**Figure 6**).

Sous l'effet de la chaleur du soleil, l'eau des mers, des fleuves et des lacs s'évapore. **L'évapotranspiration** joue un rôle également important dans le cycle de l'eau. Elle est accélérée par les végétaux qui transpirent de grandes quantités d'eau par leur système foliaire. De plus, leurs racines, accélèrent ces mouvements ascendants de l'eau dans le sens sol-atmosphère. Cette eau rejoint alors l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau (nuages). Les nuages sont poussés par le vent. Lorsqu'ils traversent des régions froides, la vapeur d'eau se condense. Elle retombe sur le sol, sous forme de pluie, de neige ou de grêle. Les 7/9 du volume total de ces précipitations retombent à la surface des océans et les 2/9 seulement sur les continents. La circulation de l'eau dans la lithosphère emprunte trois voies :

- **Le ruissellement** : phénomène d'écoulement des eaux à la surface des sols.
- **L'infiltration** : phénomène de pénétration des eaux dans le sol, à travers les fissures naturelles des sols et des roches, assurant ainsi l'alimentation des nappes phréatiques.

- **La percolation** : phénomène de migration de l'eau à travers les sols (jusqu'à la nappe phréatique). Ruissellement, infiltration et percolation assurent l'alimentation des cours d'eau qui restituent en dernier lieu l'eau à l'hydrosphère.

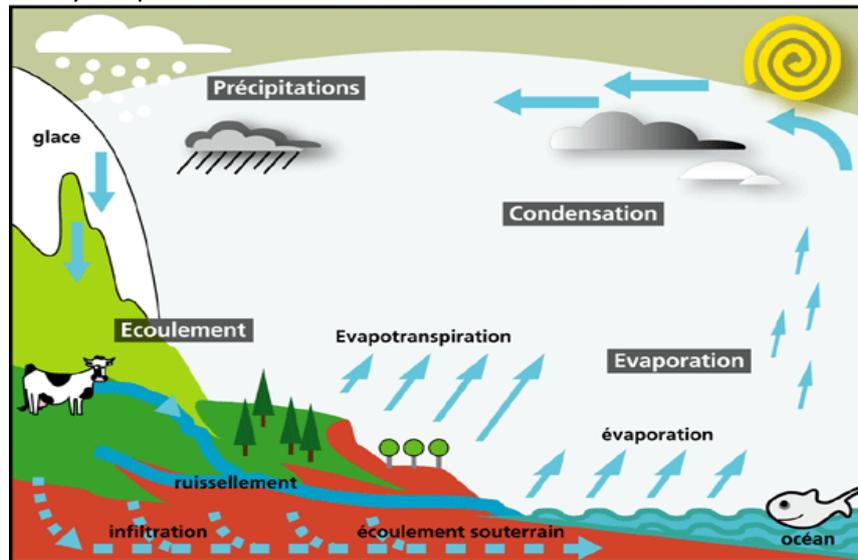


Figure 6: Cycle de l'eau.

5.2. Le cycle du carbone

Lors de la respiration, les êtres vivants consomment de l'oxygène et rejettent du dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère. De même, les industries, les véhicules de transports rejettent du CO_2 dans l'atmosphère après combustion d'un carburant, en présence d'oxygène. Les éruptions volcaniques sont également considérées comme source naturelle de CO_2 . Le CO_2 est absorbé par les plantes (photosynthèse) et l'eau (dissolution). Photosynthèse et dissolution sont les phénomènes permettant le recyclage du gaz carbonique (**Fig.05**).

Après la photosynthèse, le carbone se combine avec d'autres éléments pour former des molécules complexes, qui après la mort de la plante seront dégradées très lentement en charbon. Lors de leur combustion, ces combustibles fossiles formeront à nouveau du CO_2 .

Le CO_2 de l'air et celui dissous dans l'eau constituent la seule source de carbone inorganique à partir de laquelle s'élaborent toutes les substances biochimiques constituant la cellule vivante (grâce à l'assimilation chlorophyllienne).

Au cours de la respiration des autotrophes, des hétérotrophes et de divers autres organismes, le gaz carbonique est dégagé parallèlement à la consommation d'oxygène.

Le dégagement de CO_2 a lieu également au cours des fermentations qui conduisent à une décomposition partielle des substrats dans des conditions anaérobies.

Dans les sols, il se produit souvent un ralentissement du cycle du carbone : les matières organiques ne sont pas entièrement minéralisées mais transformées en un ensemble de composés organiques acides (les acides humiques). Dans certains cas les matières organiques ne sont pas entièrement minéralisées et elles s'accumulent dans diverses formations sédimentaires. Il se produit une stagnation et même un blocage du cycle du carbone. C'est le cas actuellement de la formation de tourbe ou par le passé de la constitution de grands dépôts de houille, de pétrole et d'autres hydrocarbures fossiles.

Pendant, nous produisons trop de dioxyde de carbone et notre Terre n'arrive plus à le recycler. Le taux de CO_2 dans l'atmosphère augmente et le climat se réchauffe. En effet, le CO_2 présent dans l'atmosphère permet de piéger la chaleur du soleil qui rend la vie possible sur Terre. C'est ce qu'on appelle l'effet de serre. En augmentant la concentration de CO_2 dans l'atmosphère, l'équilibre de notre écosystème est perturbé. Le climat se réchauffe et cela peut avoir des conséquences graves sur la vie sur Terre : les calottes glaciaires pourraient fondre et augmenter le niveau des mers en certains points provoquant des inondations, augmentation des conditions climatiques extrêmes comme les tempêtes, les raz de marée, la sécheresse... etc.

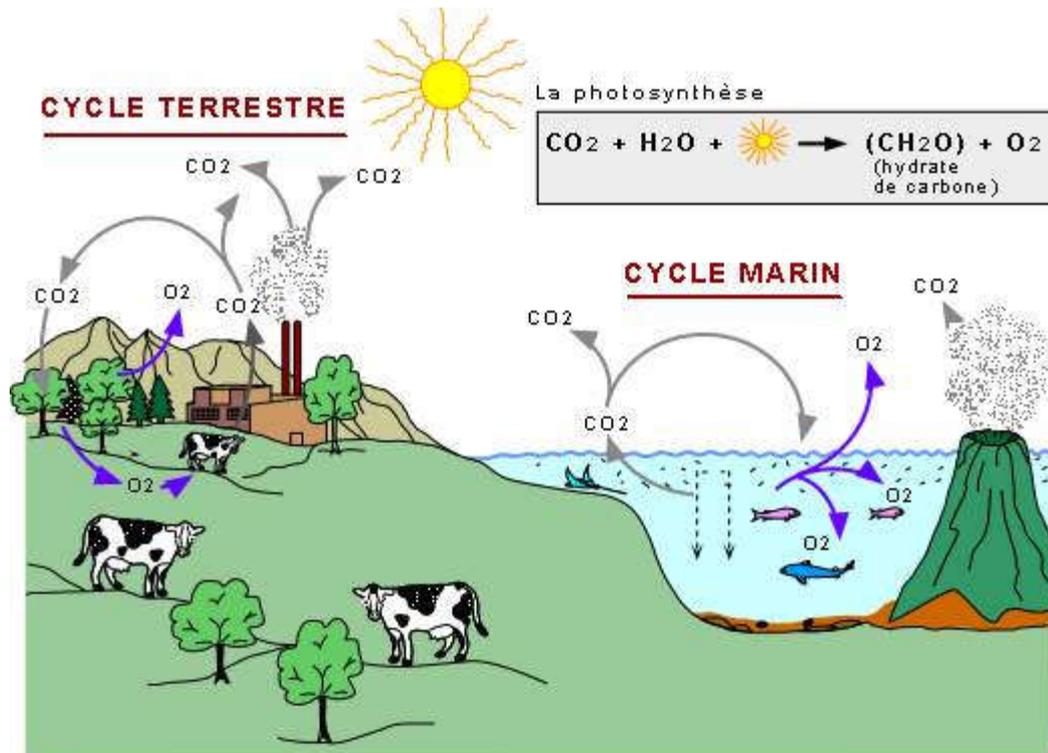
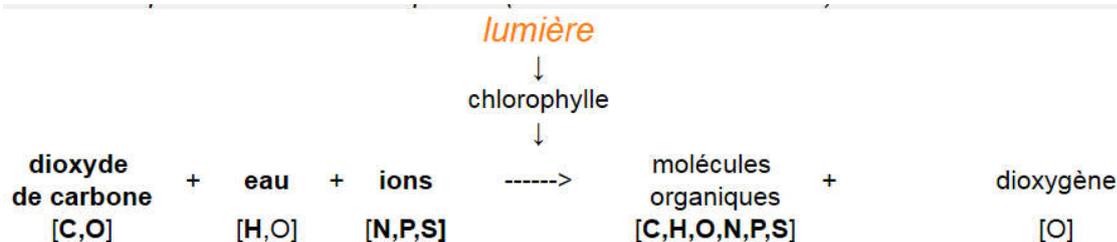


Figure 7: Cycle du carbone.



Réaction globale de la nutrition végétale

5.3. Le cycle du phosphore

En dépit de la rareté du phosphore minéral dans la biosphère, cet élément reste important pour la matière vivante (c'est un constituant de l'ADN, de l'ARN et de l'ATP). Son réservoir principal est constitué par diverses roches qui cèdent peu à peu leurs phosphates aux écosystèmes.

Dans le milieu terrestre, la concentration en phosphore assimilable est souvent faible et joue le rôle de facteur limitant. Ce phosphore est mis en circulation par lessivage (ou érosion) et dissolution et introduit ainsi dans les écosystèmes terrestres où il est absorbé par les végétaux. Ceux-ci l'incorporent dans diverses substances organiques et le font ainsi passer dans les réseaux trophiques. Puis les phosphates organiques sont restitués au sol avec les cadavres, déchets et excréta produits par les êtres vivants, attaqués par les micro-organismes et retransformés en orthophosphates minéraux, à nouveau disponibles pour les plantes vertes et autres autotrophes.

Le phosphore est introduit dans les écosystèmes aquatiques par les eaux de ruissellement. Celles-ci vont ensuite rejoindre les océans, permettant ainsi le développement du phytoplancton et des animaux des divers maillons de la chaîne trophique.

Le passage du phosphore de l'état organique à l'état inorganique est assuré par des bactéries et des champignons.

Un retour partiel des phosphates des océans vers les terres émergées s'effectue par l'intermédiaire des oiseaux marins **ichtyophages** ou **piscivores** par le biais de gisements de guano.

Cependant, dans les océans, le cycle du phosphore se fait avec des pertes, puisqu'une partie

importante des phosphates entraînée en mer se retrouve immobilisée dans les sédiments profonds (fragments de cadavres de poissons, non consommés par les détritivores et les décomposeurs). Lorsqu'il n'existe pas de courants ascendants permettant la remontée des eaux en surface, la pénurie de phosphore est un facteur limitant. Le cycle du phosphore est donc incomplet et ouvert. Du fait de sa rareté et en raison de ces pertes pour le cycle, le phosphore constitue donc le principal facteur limitant qui contrôle la majeure partie de la production primaire.

5.4. Le cycle de l'azote

Le principal réservoir de l'azote est l'atmosphère qui en renferme 79% en poids. La formation de nitrates par voie inorganique s'effectue sans cesse dans l'atmosphère par suite des décharges-électriques lors des orages. Mais, elle ne joue qu'un rôle secondaire par rapport à celui des micro-organismes nitrifiants. Ces derniers sont surtout représentés par des bactéries, soit libres (*Azotobacter*, *Clostridium*, *Rhodospirillum*), soit symbiotiques (*Rhizobium*). Dans le milieu aquatique ce sont surtout les algues cyanophycées (algues bleues) qui sont fixatrices de l'azote gazeux.

L'azote nitrique ainsi élaboré par ces nombreux micro-organismes terrestres ou aquatiques est finalement absorbé par les végétaux, amené dans les feuilles et transformé en ammoniac, grâce à une enzyme spécifique, la nitrate-réductase. Ensuite, l'ammoniac est transformée en azote aminé puis en protéines.

Les protéines et autres formes de l'azote organique contenues dans les cadavres, excréta et déchets organiques vont être attaquées par des microorganismes bioréducteurs (bactéries et champignons) qui produisent l'énergie dont ils ont besoin par la décomposition de cet azote organique qui est ensuite transformé en ammoniac, c'est l'ammonification.

Une partie de cet azote ammoniacal peut être absorbé directement par les végétaux, mais il peut être aussi utilisé par des bactéries nitrifiantes (les *Nitrosomonas*) pour produire leur énergie métabolique. Celles-ci transforment l'ammoniac NH_4^+ en nitrite, NO_2^- , c'est la nitritation, puis les *Nitrobacter* le transforment en NO_3^- , c'est la nitratisation. L'ion nitrate NO_3^- est alors absorbé par les végétaux.

L'azote retourne constamment à l'air sous l'action des bactéries dénitrifiantes (*Pseudomonas*) qui sont capables de décomposer l'ion NO_3^- en N_2 qui se volatilise et retourne à l'air; mais le rôle de ces bactéries est heureusement peu important.

Une partie non négligeable des nitrates peut être lessivée par les eaux de ruissellement et entraînée en mer. L'azote peut alors être immobilisé par incorporation aux sédiments profonds. Cependant, il est en grande partie repris par les organismes du phytoplancton et il entre dans une chaîne alimentaire aboutissant à des oiseaux qui le ramènent, par leurs déjections, au milieu terrestre sous la forme de guano.

Chapitre 3: Interaction Environnement-Homme-Démographie et Notion de développement durable

L'évolution de la notion d'environnement écologique est liée à celle des primates et de l'appariation de l'espèce « Homo sapiens » ou l'homme moderne. La population des grands primates (gorilles, chimpanzés, orang-outang), occupant la terre il y a de cela 10 millions d'années, est constituée de 100.000 individus. C'étaient des êtres craintifs, mal armés par la nature, plutôt décimés à des prédateurs et se nourrissaient de plantes et de petites proies. L'homme moderne a pu, en très peu de temps, transformer la biosphère.

Grâce à ses capacités cérébrales permettant les apprentissages rapides, l'adaptation aux changements environnementaux ainsi que la transmission des connaissances, l'homme est arrivé, il y a 100 mille ans, à maîtriser le feu, se chauffer, s'éclairer, éloigner ses prédateurs et à créer des groupes sociaux. Ces actions ont permis d'augmenter sa durée de vie et d'assurer son expansion démographique. La figure I-1 montre l'évolution de l'espèce humaine à travers le temps et dans le monde.



Figure 8 : Evolution de la population humaine

I. Modification de l'environnement par l'homme

Après avoir domestiqué le feu, les hommes ont commencé à modifier leur environnement et ce, en favorisant la production de certains végétaux utiles, en exterminant les animaux venimeux et dangereux et en allumant des incendies pour défricher et ouvrir des espaces. Nous pouvons citer à titre d'exemple, les aborigènes qui ont éradiqué une grande partie de la forêt causant ainsi la raréfaction de certaines espèces animales et végétales. L'Homo sapiens a été aussi accusé de l'extinction de la mégafaune nord tempérée (mammouth, rhinocéros laineux et autres grands animaux. D'autres facteurs climatiques et catastrophes naturelles ont contribué à la raréfaction de ces espèces comme les périodes de glaciations successives.

A. La transition agricole

L'agriculture et l'élevage sont apparus (indépendamment) au Moyen – orient, en Chine et en Amérique centrale, il y a de cela environ 10.000 ans. Une apparition progressive et simultanée à l'évolution de la chasse. L'activité de chasse a causé la disparition de plusieurs autres espèces animales comme le Dodo de Madagascar ou l'aurochs de Varsovie (Figure I-3). L'agriculture a connu une grande expansion, alimentée par de nouvelles découvertes alimentaires qui ont aidé à améliorer les conditions

de vie et donc à prolonger la durée de vie des êtres vivants et à favoriser une croissance démographique démesurée (voir courbe de croissance démographique, Fig. II.5 3).

Il est difficile de juger que l'homme est le seul « exterminateur » de certaines espèces animales et végétales puisqu'il est né en Afrique et c'est le seul continent qui a su garder sa faune.

B. Transition industrielle

Autres que les effets de l'agriculture sur la faune et la flore, l'apparition de forge, de verrerie, de constructions navales, de tanneries,... a contribué à défricher les forêts et à polluer les rivières. Ceci a concerné une partie limitée de l'Europe, puis ça s'est généralisé à une grande partie du monde. La progression des effectifs de l'humanité s'est accompagnée d'un synchronisme quasi-parfait de notre entrée dans une société, dont l'activité industrielle est basée sur l'exploitation des énergies fossiles dites ressources non renouvelables 4. Ces dernières (charbon, pétrole et gaz naturel) ont favorisé l'expansion du progrès technologique. Ces phénomènes technologiques ont amélioré la productivité agricole par la mécanisation des activités agricoles ancestrales. Les impacts d'un tel phénomène peuvent être résumés par la figure I.4.

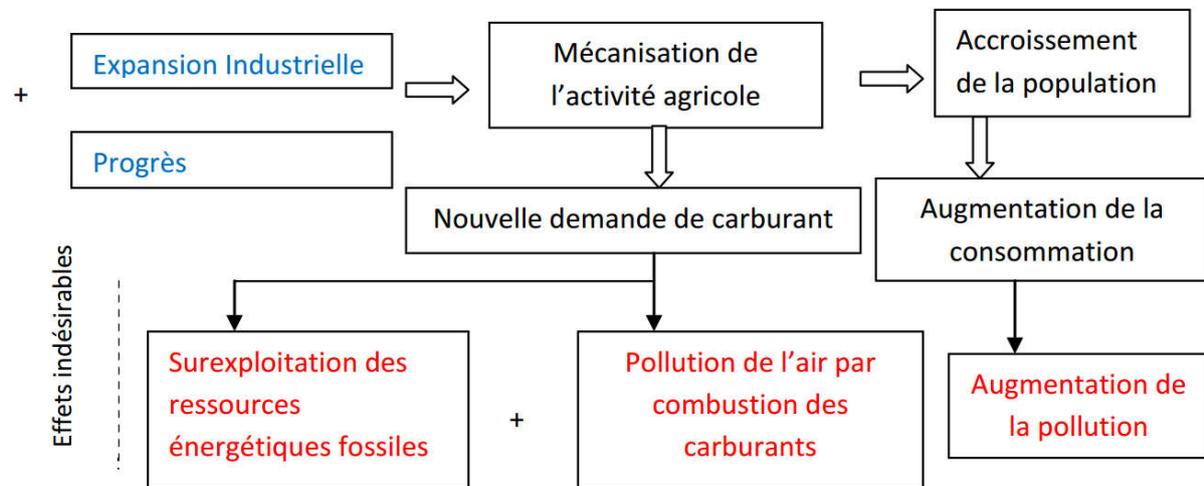


Figure 9 : Effet du progrès technique sur les activités agricoles et par conséquent sur l'environnement écologique

II. Impact de La démographie sur l'environnement

Après une longue période de faible croissance démographique, **La croissance démographique serait-elle responsable de la pauvreté, de l'instabilité sociale, des crises écologiques, etc. ?**, la population humaine a connu un essor considérable au XIXème et au XXème. On estime qu'elle devrait plafonner à la fin du XXI siècle aux alentours de 10 milliards d'individus.

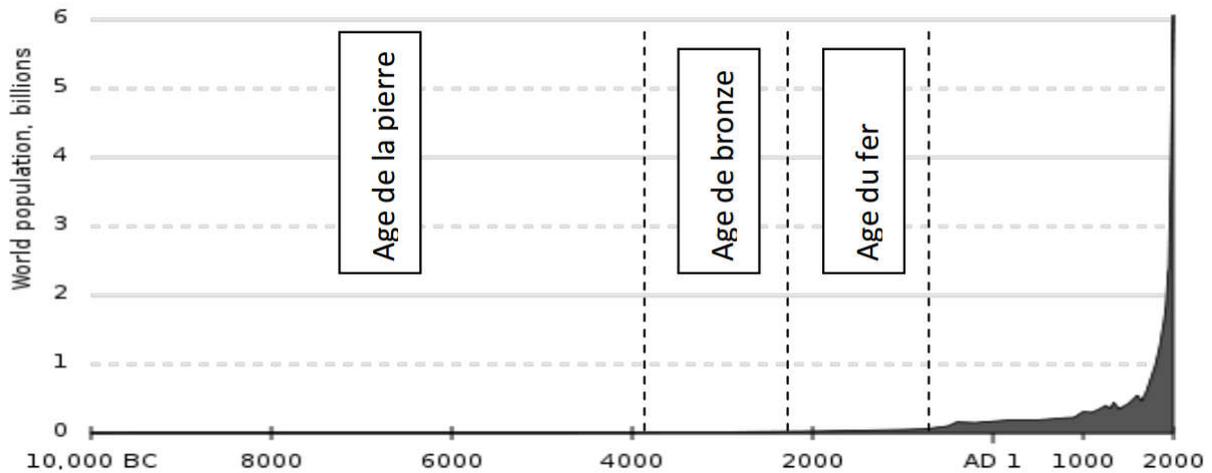


Figure 10 : Croissance démographique de l'humanité 6

Depuis l'apparition de l'agriculture, l'expansion démographique implique plus d'individus à nourrir et donc plus d'espace à cultiver. Ce fait implique forcément une grande exploitation des ressources naturelles physique (eau, sol, etc.) ou de ressources vivantes (poissons marins, têtes bovines, ovines, etc.). La croissance démographique est non homogène. En effet, six pays totalisent actuellement la moitié de la croissance annuelle. Il s'agit de, l'Inde, la Chine, le Pakistan, le Nigeria, le Bangladesh et L'Indonésie. Les nations développées totalisent une population stable de 1,2 milliard d'individus. Dans certains pays développés, (Japon, Allemagne, Italie, etc.) la population a même baissé.

La problématique démographique est traitée par les politiciens avec beaucoup de réserves. En effet, réduire les naissances concerne en premier lieu les pays en développement. Elles constituent néanmoins une force de travail et une assurance sur l'avenir. Si les pays du nord accusent l'explosion démographique des pays du sud d'être une des causes majeures de la dégradation de l'environnement, ces derniers affirment en retour que les problèmes écologiques proviennent essentiellement des modes de développement adoptés par les pays industrialisés. Par convention, on dira que tout dépend du projet social adopté (les choix prioritaires en matière de développement économique et social), c'est ainsi que notre démographie conditionnera l'ampleur de l'impact de nos activités sur la biosphère (d'après Lévêque et Sciamma., 2005).

III. La notion de développement durable

Avant de définir la notion de développement durable donnons la définition de quelques notions.

A. Notions de base :

Environnement: La définition simplifiée du mot environnement correspond au cadre de vie, qu'il soit d'origine naturelle ou construit par l'homme. Il fournit de nombreuses ressources dont l'homme a besoin pour son existence et son bien-être, tout en étant simultanément une source de nuisance et d'inquiétude pour ce qui touche de près ou de loin à sa santé et à ses biens. Ceci concerne les pollutions d'origine diverses jusqu'aux cataclysmes climatiques. Autre définition de l'environnement de l'homme, annoncée dans la conférence de Stockholm sur l'environnement humain en 1972 est « l'ensemble des rapports parfois de nature conflictuelle qu'il entretient avec le milieu dans lequel il vit et qui nécessite des arbitrages au niveau de la société ».

Développement: La notion du développement, telle qu'ont développé les économistes, tire son origine des sciences du vivant (le développement d'un organisme = évolution de l'état embryonnaire vers l'état adulte). La croissance, quant à elle, correspond, à un changement quantitatif (augmentation de la richesse d'un pays par exemple). Ces deux phénomènes ne sont pas nécessairement liés. Il est possible d'observer une croissance économique sans développement réel de la société concernée et vice versa.

A la conférence de Rio en 1992, le développement a été présenté comme un ensemble de mesures techniques (utilisation des connaissances scientifiques, croissance de la productivité, identification des échanges internationaux, amélioration de la santé, éducation, réduction de la pauvreté qui implique aussi une croissance économique). Il est utile de rappeler que de nos jours, le développement économique est assimilé à la croissance et que le développement économique n'est pas nécessairement le moteur du développement humain. Pour le philosophe "Edgar Morin" : *" L'idée du développement (...) suppose de façon implicite que le développement technico- économique est la locomotive qui entraîne naturellement à la suite un "développement durable" dont le modèle accompli est celui des pays réputés développés (...). Cette vision suppose que l'état actuel des sociétés occidentales constitue le but et la finalité de l'histoire humaine. Le développement durable ne fait que tempérer le développement par considération du contexte écologique, mais sans mettre en cause ses principes. Ainsi le développement, notion apparemment universaliste, constitue un instrument de colonisation des pays "sous développés", dits du sud par le nord"*.

Progrès: Au 18^{ième} siècle, les philosophes de l'ère de la Lumière, considèrent le progrès technique comme accompagnant de développement des connaissances scientifiques. C'était le meilleur moyen de lutter contre le froid, la misère et la faim. Il assurait ainsi le progrès économique. Ainsi donc, le progrès social, politique et moral étaient garantis par le progrès économique.

L'apogée du scientisme, connue à la fin du 19^{ième} siècle, repose sur une croyance absolue dans les capacités scientifiques à apporter les solutions à tous les problèmes de l'humanité (la science est donc vue comme le moteur du progrès). Avec le triomphe du communisme en URSS, c'est à dire au 20^{ième} siècle, la science ainsi que la technologie a été glorifiée afin d'assurer le bien être social.

Ce qui se passe actuellement est totalement différent. En effet, le temps du scientisme est en partie révolu et le culte du progrès est controversé. La facette humaine du progrès qui correspondait à celui du progrès social, politique et moral, ne découle pas forcément des avancées technologiques et scientifiques. Le monde d'aujourd'hui est plus injuste, plus violent et plus individualiste.

B. Le développement durable:

On commence par présenter l'évolution de la notion du développement durable au cours des 40 dernières années puis par définir les notions d'écologie, d'économie et de social. On présentera par la suite le principe de précaution et celui d'action et enfin, une première idée sur la façon d'agir pour préserver l'environnement.

1. Le développement durable depuis 1972:

Les dates qui ont marqué l'évolution de la notion du développement durable sont les suivantes:
1972: Le rapport de Meadows (club de Rome), ce rapport a permis de tirer une première conclusion:

"Le maintien d'un rythme de croissance économique et démographique, présente des menaces graves sur l'état de la planète et donc sur la survie de l'espèce humaine. Seul un état d'équilibre avec le maintien d'un niveau constant de la population et du capital permettrait d'éviter la catastrophe qui guette l'humanité (théorie de la croissance 0)"

1972: Première conférence internationale sur l'environnement humain à Stockholm (sous l'égide des nations unies). On a certes constaté que la croissance 0 est impossible à appliquer dans les pays en voie de développement, d'où la déclaration suivante de cette conférence: *"Rien ne justifiait un conflit entre les nations développées et l'environnement que l'appui donné à une action en faveur de l'environnement, ne devait pas servir de prétexte pour fournir le développement"* .

La conclusion tirée était de proposer un modèle de développement économique compatible avec l'équité sociale et la prudence écologique. Ce modèle a été nommé le modèle " écodéveloppement "

1983: Mise en place par les nations unies d'une Commission Mondiale pour L'environnement et le Développement (CMED) présidé par le premier ministre Norvégien Brundtland.

1987: Le rapport de Brundtland intitulé "notre avenir à tous". Dans ce rapport, on a désigné la pauvreté croissante au sud et la croissance économique soutenue du nord comme principales causes de la dégradation de l'environnement à l'échelle planétaire.

Dans ce rapport, le terme "sustainable development" ou développement soutenable ou encore développement durable comme un développement répondant aux besoins actuels (du présent) sans pour autant compromettre la capacité des générations futures de répondre à leurs propres besoins.

1992: La conférence de Rio. Dans cette conférence, le développement durable correspond à la modification des modes de production. Il correspond aussi à l'évolution des pratiques de consommation et surtout à l'adoption du citoyen ainsi que de l'industriel, un comportement quotidien permettant de préserver la qualité et la diversité du cadre de vie, des ressources et de l'environnement. Le modèle de développement des sociétés occidentales n'est plus considéré comme unique et obligatoire modèle de développement (du moins en théorie). Il a été ainsi tiré la conclusion suivante: "*à une diversité de situations et de cultures, doit correspondre la diversité des formes de développement*".

Après ces dates clés, la notion du développement durable a été traitée dans plusieurs manifestations, congrès et symposium internationaux. La définition de cette notion n'est plus l'ordre du jour mais plutôt les solutions à présenter pour éviter les catastrophes possibles et préserver l'environnement.

2. L'écologie, l'économie et le social:

Ces trois éléments sont considérés comme les piliers du développement durable. La préservation de l'environnement est envisagée sur le long terme. Par contre, la satisfaction des besoins sociaux est souvent considérée à court terme. Enfin, le réalisme économique, doit être conciliés avec les deux autres éléments et surtout géré dans un cadre de globalité. La différence dans les axes temporels, ainsi que de la nature de ces pôles fait que le compromis entre les trois est difficile à trouver.

C. Le principe de précaution comme principe d'action

Le sommet de la terre à Rio (1992): "*Il ne faut pas attendre le stade des certitudes scientifiques pour commencer à prendre des mesures en vue de prévenir des risques menaçant l'environnement planétaire*".

Le principe de précaution est apparu, dans le domaine de l'environnement, comme une reconnaissance de l'incertitude scientifique. Cette dernière accompagne les innovations technologiques ainsi que leurs conséquences dans le moyen et le long terme. En effet, le développement technologique a des effets indésirables et souvent imprévisibles. Citons à titre d'exemples, les effets des pesticides organochlorés, ceux des gaz à effet de serre ou ceux des OGM. Les nouvelles technologies sont par conséquent, incapables à différents degrés, de maîtriser les risques de ces nouvelles technologies.

D. Agir pour préserver l'environnement:

Pour les environnements, les plus radicaux, il s'agit de ne plus perturber la nature. Pour les grandes entreprises, c'est une continuation plus ou moins finie de leur développement. Pour certains, le développement est la lutte contre la pauvreté et les inégalités. Il faut reconnaître que les besoins des pauvres sont des besoins immédiats, à assouvir immédiatement. Ces besoins sont souvent incompatibles avec la gestion à LT de l'environnement. Dans les chapitres suivants, Une présentation des solutions techniques, économiques, politiques sociales serait amplement détaillée.

Chapitre 4 : Environnement et ressources naturelles

Nous distinguons différents types d'environnement : environnement économique, politique, social, industriel, culturel, etc. Dans ce cours nous nous intéressons à l'environnement écologique, lié à notre planète terre où l'homme évolue.

I. Caractéristiques de la planète terre

Commençons par donner une présentation de la planète terre selon la description de Pr Gérard Mégie : « Depuis les origines, la planète Terre se comporte comme un système interactif complexe. Les conditions qui ont permis l'apparition de l'Homme résultent d'un équilibre précaire entre les océans, l'atmosphère, l'énergie solaire et la biosphère. Équilibre dynamique et non statique, caractérisé par les échanges permanents soumis eux-mêmes aux variations des paramètres cosmiques. C'est dans le rayonnement solaire que la terre puise l'énergie nécessaire aux transformations thermodynamiques et chimiques qui prennent naissance à sa surface ». Cette description peut être résumée par la figure

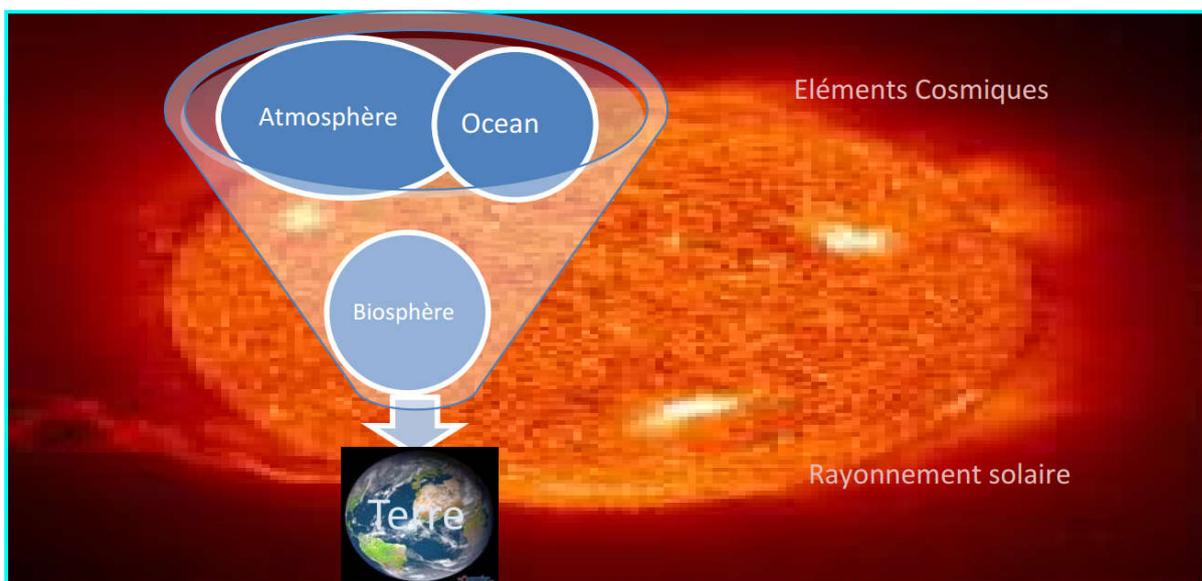


Figure 11 : Interaction dynamiques entre élément naturels

La planète terre est la seule planète du système solaire constituée à la fois d'une biosphère (êtres vivants), d'océans et de continents. Elle est constituée de 4 enveloppes externes :

- La lithosphère: d'une épaisseur moyenne de 100km couvrant la surface de la terre ,
- l'hydrosphère : d'une épaisseur moyenne de 3800m. Elle est formée essentiellement par l'eau liquide des océans (+97%), des glaciers, des calottes polaires, de l'eau de l'atmosphère, du sol, des fleuves, des nappes phréatiques, etc.,
- L'atmosphère: subdivisée depuis le sol en troposphère, stratosphère, mésosphère et thermosphère qui est la couche le plus élevée.
- La biosphère: ce sont les êtres vivants qui occupent une mince pellicule à l'interface entre la lithosphère et l'atmosphère.

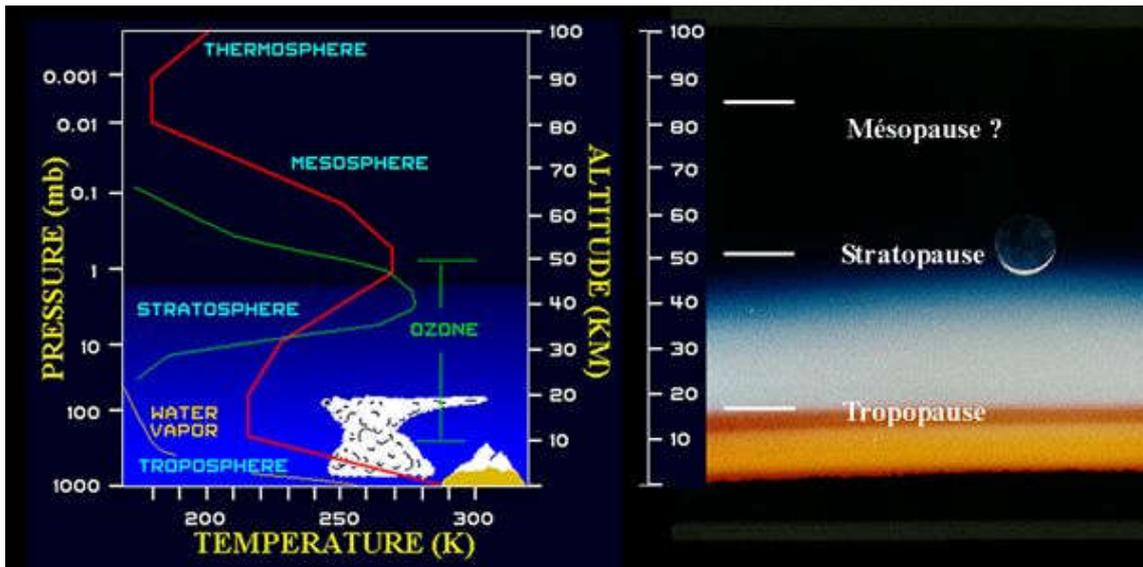
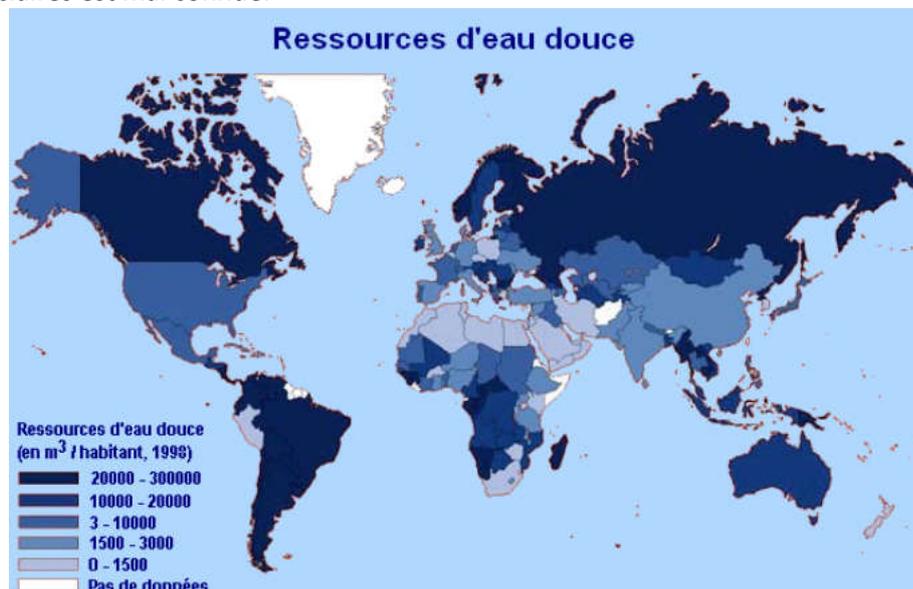


Figure 12 : Les enveloppes de la terre

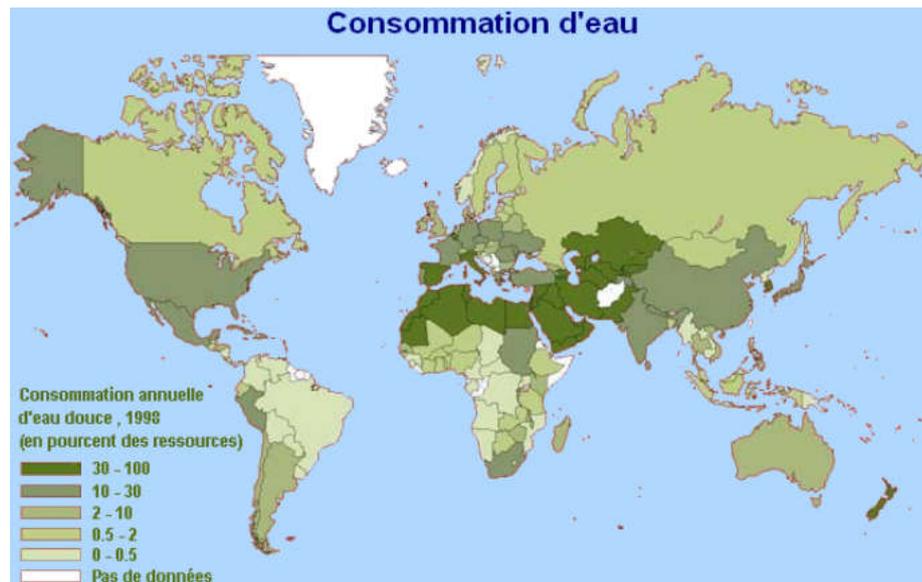
II. Les ressources de la planète terre

A. L'eau:

La présence de l'eau sur terre est la principale caractéristique de cette planète, qui la différencie des autres planètes et explique la notion de vie et de croissance. La quantité d'eau totale sur terre est de 1400 km³ dont 1365 km³ sont des eaux salées. Les eaux douces sont difficilement estimables. En effet, 97% sont contenues dans le sol et les couches profondes de la terre. Aussi la quantité d'eau piégée dans les calottes glaciaires est mal connue.



- Usages:** 4500 km³ sont prélevées chaque année sur la planète. L'agriculture en consomme plus de 70% contre 20% pour l'industrie (production électrique) et 10% pour l'usage domestique,
- Rythme de reconstitution:** L'eau est recyclée en permanence à la surface de la terre. A titre indicatif, près de 600.000 km³ d'eau s'évapore,
- Stress:** L'homme prélève par an, moins de 1% d'eau recyclée,
- Problématique:** La ressource est abondante mais très inégalement répartie. Sa qualité aussi diffère, limitant ainsi son usage ou exigeant des traitements onéreux pour la rendre potable ou à la limite utilisable dans certains secteurs économiques.



B. L'air:

Un autre élément spécifique à la terre et indispensable à la vie est l'air et spécialement, l'oxygène (O_2 , à hauteur de 21%).

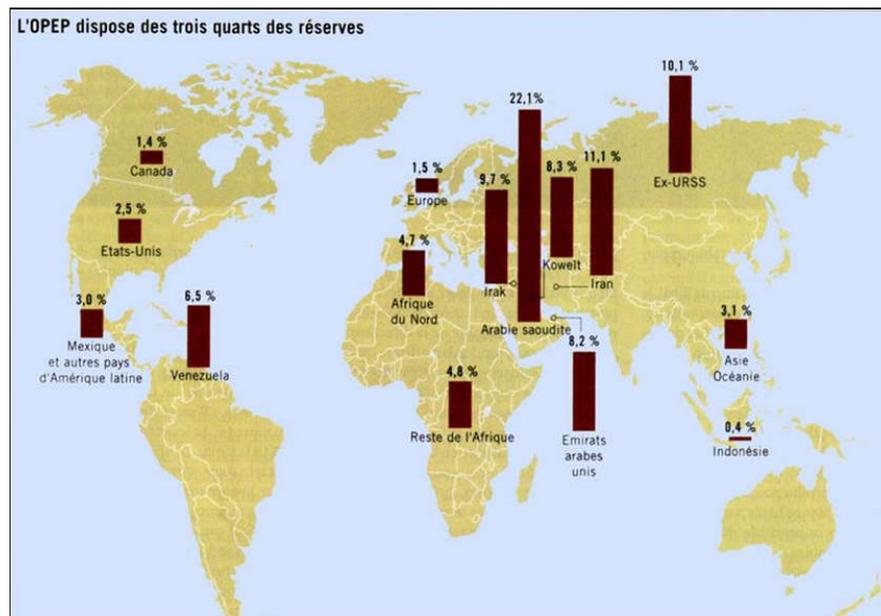
- a. **Usages:** l'air et spécifiquement l'oxygène (O_2) est indispensable au développement et au maintien de la vie sur terre, car il est à la base de la respiration des organismes vivants,
- b. **Rythme de reconstitution:** La proportion de l' O_2 sur terre est considérée comme stable puisque les organismes photosynthétiques terrestres et aquatiques produisent chaque année environ $30 \times 10^{13} \text{ kg}$ d' O_2 . Une quantité équivalente est aussi consommée pour la respiration des organismes vivants,
- c. **Stress:** L'homme ne respire qu'une infime fraction de l'oxygène produit par les plantes alors que la combustion des énergies fossiles prélève à elle seule 4% de cette production,
- d. **Problématique:** La pollution de l'air est une menace pour la santé de l'homme est ceci s'explique par les activités polluantes de l'homme (à l'ozone, aux oxydes divers, aux particules fines issues de l'industrie ou aux gaz d'échappement).

C. Les énergies fossiles:

86% des énergies primaires sont livrées par les énergies fossiles:

1. Le pétrole

- a. **Usages:** Production de chaleur et d'électricité, carburant d'automobiles, revêtement, etc.
- b. **Rythme de reconstitution:** des millions d'années.
- c. **Stress:** 42 ans de réserves au rythme actuel de consommation.
- d. **Problématique:** demande importante + répartition inégale + tensions géopolitiques.



2. Le gaz naturel

- Usages:** Production de chaleur et d'électricité, carburant alternatif
- Rythme de reconstitution:** des millions d'années.
- Stress:** 42 ans de réserves au rythme actuel de consommation.
- Problématique:** demande importante + répartition inégale + tensions géopolitiques.

3. Le charbon

- Usages:** Production de chaleur et d'électricité, sidérurgie, cimenterie.
- Rythme de reconstitution:** des millions d'années.
- Stress:** 150 ans de réserves au rythme actuel de consommation.
- Problématique:** Accélération des émissions de gaz carbonique et d'oxydes de soufre ou d'azote.

4. L' L'uranium

- Usages:** Production d'électricité dans des réacteurs nucléaires.
- Rythme de reconstitution:** Non renouvelable
- Stress:** 32 ans de réserves au rythme actuel de consommation.
- Problématique:** moins de 30 pays disposent de la technologie nécessaire + problèmes de gestion des déchets radioactifs.

D. Les autres énergies

Ce qu'on peut dire concernant ces énergies c'est que le potentiel dépasse la demande. Le seul point critique c'est que les technologies actuelles ne permettent d'en exploiter qu'une infime partie.

1. Solaire

- Usages:** Production de chaleur et d'électricité.
- Rythme de reconstitution:** flux continu
- Stress:** Il y en a pour 7 milliards d'années (jusqu'à l'explosion du soleil)
- Problématique:** Les rendements de conversion solaire en électricité sont faibles (10%) et les capteurs solaires (silicium) sont coûteux à produire. Energie intermittente.

2. Eolien

- Usages:** Production d'électricité

- b. Rythme de reconstitution:** flux continu
- c. Stress:** Il y en a pour 7 milliards d'années (jusqu'à l'explosion du soleil)
- d. Problématique:** L'électricité est produite par intermittence. La vitesse des vents, et donc la puissance fournie, peut varier considérablement au cours du temps dans une même région.

3. Hydraulique

- a. Usages:** Production d'électricité
- b. Rythme de reconstitution:** flux continu
- c. Stress:** Il y en a pour 7 milliards d'années (jusqu'à l'explosion du soleil)
- d. Problématique:** L'installation de barrages sur les fleuves s'accompagne d'une modification des écosystèmes, de l'inondation de terres et du déplacement des populations locales.

4. Géothermie

- a. Usages:** Production de chaleur et d'électricité.
- b. Rythme de reconstitution:** Non renouvelable
- c. Stress:** Disponible tant qu'il y aura des éléments radioactifs dans la terre (plusieurs milliards d'années)
- d. Problématique:** Hormis quelques régions, la ressource est globalement difficile d'accès, car elle nécessite des forages profonds.

5. Biomasse.

- a. Usages:** Chauffage, électricité, biocarburant.
- b. Rythme de reconstitution:** Quelques dizaines d'années.
- c. Stress:** Prélèvement inférieur au rythme de constitution de la réserve.
- d. Problématique:** Principale source d'énergie domestique pour 25% des hommes, l'utilisation de bois de chauffe accélère la déforestation.

E. Les éléments minerais

Ce qu'on peut dire concernant ces énergies c'est que le potentiel dépasse la demande. Le seul point critique c'est que les technologies actuelles ne permettent d'en exploiter qu'une infime partie.

1. Or

- a. Stock:** 150 milliards de tonnes
- b. Localisation:** Les réserves connues sont assez dispersées à l'échelle du globe. [Afrique du sud (14%), Australie (12%) et Pérou (8%)].
- c. Usages:** La bijouterie et la joaillerie absorbent 86% de la production.
- d. Rythme de reconstitution:** non renouvelable.
- e. Stress:** 17 années de réserve, au rythme actuel de production (2500 Tonnes/an).

2. Argent

- a. Stock:** 270000 à 383000 tonnes
- b. Localisation:** La Pologne possède 20% des réserves connues, le Mexique 14% et le Pérou 13%.
- c. Usages:** Bijouterie et argenterie 31%, photographie, 24%, pièces et médailles, 4% autres utilisations industrielles 41%
- d. Rythme de reconstitution:** non renouvelable.
- e. Stress:** 13 années de réserve, au rythme actuel de production (20500 Tonnes/an).

3. Platine

- a. Stock:** 13000 tonnes.
- b. Localisation:** L'essentiel des réserves connues se situent en Afrique du sud, dans le complexe du Bushveld. Ce pays assure 80% de la production mondiale.
- c. Usages:** Bijouterie et argenterie 31%, photographie 24%, pièces et médailles 4% et autres utilisations industrielles 41%.

- d. **Rythme de reconstitution:** non renouvelable.
- e. **Stress:** 56 années de réserve, au rythme actuel de production (230 Tonnes/an).

4. Fer

- a. **Stock:** 150 milliards de tonnes de minerais de fer
- b. **Localisation:** L'Ukraine renferme 20% des réserves connues, la Russie 17%, la chine 14%, le Brésil 11% et l'Australie 11%.
- c. **Usages:** La sidérurgie en absorbe 99%.
- d. **Rythme de reconstitution:** non renouvelable.
- e. **Stress:** 79 années de réserve, au rythme actuel de production (1,9 milliard de tonnes/an).

Il existe essentiellement 8 autres éléments et minerais qui sont surexploités et non renouvelable. Nous citons à titre d'exemple le Nickel, le Cuivre, le Plomb, le Cobalt, le Zinc, l'Aluminium, l'Etain et le Palladium.

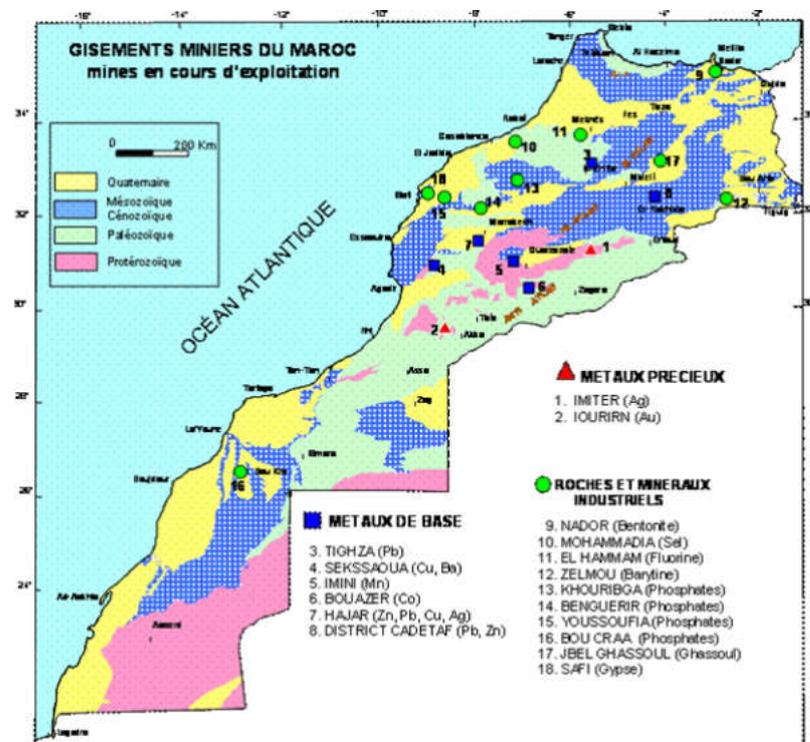


Figure 13: Carte des Ressources naturelles minérales au Maroc

F. La biodiversité: Les scientifiques recensent près de 1,7 millions d'espèces sont recensées.

- a. **Usages:** La biodiversité fournit de nombreux biens et services à l'homme: approvisionnement en nourriture, eau douce et bois, stock de molécules chimiques utilisées en pharmacologie, assainissement des eaux et sols pollués, régulation des inondations et de l'érosion.
- b. **Rythme de reconstitution:** au sein des espèces, le renouvellement des individus nécessite de quelques heures (c'est le cas des micro-organismes) à quelques semaines (insectes), voire à plusieurs années (arbres). En revanche, une espèce éteinte est définitivement perdue.
- c. **Stress:** Le rythme actuel d'extinction des espèces serait de cent à mille fois supérieur à ce qu'il a été au cours des temps géologiques.
- d. **Problématique:** Destruction de l'habitat naturel, pollution (de l'eau, de l'air, des sols) ou encore du réchauffement climatique sont autant de menace pour la biodiversité. Avec pour conséquence, la perturbation des écosystèmes et des services rendus à l'homme. La forêt tropicale est aujourd'hui particulièrement menacée.

G. Les sols:

Les terres érables couvrent 1,5 milliard d'hectare

- a. **Usages:** Le sol est le support naturel de la vie animale et végétale. Abritant plus de 80% de la biomasse vivant sur terre, il représente un milieu dynamique et vivant qui participe aussi au cycle de l'eau. Dans ce cycle, il remplit les fonctions de régulation et d'épuration. Ces sols sont exploités par l'homme pour différentes fins.
- b. **Rythme de reconstitution:** Selon les conditions climatiques, l'activité biologique et la nature de la roche sur laquelle le sol se développe, il faut de plusieurs siècles à plusieurs milliers d'années pour qu'un sol se forme. Soit la création d'une épaisseur de sol moyenne de 0,1mm par an.
- c. **Stress:** Le rythme naturel de formation des sols est inférieur de 100 à 1000 fois des taux d'érosion actuels.
- d. **Problématique:** On observe une dégradation de la moitié des sols cultivables (soit près de 2 milliards d'hectares). Les principales causes sont: l'érosion éolienne et hydrique ainsi que l'altération chimique (acidification, salinisation). Les pratiques agricoles comme l'usage des pesticides causent aussi la dégradation des sols. Autre phénomène observé, l'inégalité dans la distribution naturelle des terres cultivables entre le nord et le sud ainsi que la présence intensive de Sahara.

H. Les ressources alimentaires:

L'Asie produit près de la moitié de ces ressources. Citons quelques exemples de ressources alimentaires: le blé (2221Millions de tonne Mt), plantes sucrières (1650 Mt), légume (903Mt), tubercules (737Mt), fruit (526Mt), viande (27 Mt), poisson (141Mt).

- a. **Usages:** Alimentation de l'homme et de l'animal
- b. **Rythme de reconstitution:** variable. De la journée (œuf, lait), à la saison (céréales et fruits). voire à plusieurs années (élevage).
- c. **Stress:** Les stocks de céréales peuvent assurer une dizaine de semaines de consommation. Il faut noter que le quart des stocks de poissons est surexploité ou épuisé.
- d. **Problématique:** L'accès aux ressources est inégal. Plus de 800 millions de personnes dans le monde sont mal nourries. La pression démographique et les changements d'habitudes alimentaires, explique la croissance de la demande de ces ressources et engendre une augmentation de leur prix.

Chapitre 5 : Pollution et réchauffement climatique

Introduction :

La pollution est la dégradation d'un milieu naturel par des substances extérieures, introduites de manière directe ou indirecte. La santé humaine, la qualité des écosystèmes et de la biodiversité aquatique ou terrestre peuvent être affectés et modifiés de façon durable par la pollution. On considère une pollution lorsqu'un écosystème ne peut pas ou plus dégrader les substances introduites dans son milieu. Le seuil critique de sa capacité à éliminer naturellement les substances est dépassé : l'équilibre de l'écosystème est brisé. Les sources de pollutions sont nombreuses et l'identification de ces sources, des différentes substances polluantes et de leurs effets sur les écosystèmes est complexe. Elles peuvent provenir de catastrophes naturelles ou résulter de l'activité humaine, comme les marées noires, les pollutions chimiques, les accidents nucléaires...

Les nuisances engendrées par les diverses sources de pollutions sont variées et peuvent s'accumuler : augmentation de la mortalité des espèces humaines, animales ou végétales qui peut aller jusqu'à l'extinction de l'espèce, destruction de l'habitat naturel, détérioration de la qualité des sols, de l'eau, de l'air...

La prévention de la pollution, et l'application du principe de précaution sur toutes les potentialités de pollution issues des activités humaines est systématique dans l'application des principes du développement durable. Il s'agit bien entendu de remédier aux pollutions existantes, mais également d'anticiper et d'éviter les sources de pollutions à venir, afin de préserver l'environnement et la santé publique. Dans beaucoup de pays y compris le Maroc, le préjudice écologique est désormais puni par la loi, et les pollueurs doivent s'acquitter de la réparation des dommages à l'environnement.

I. Définitions.

A. Pollution :

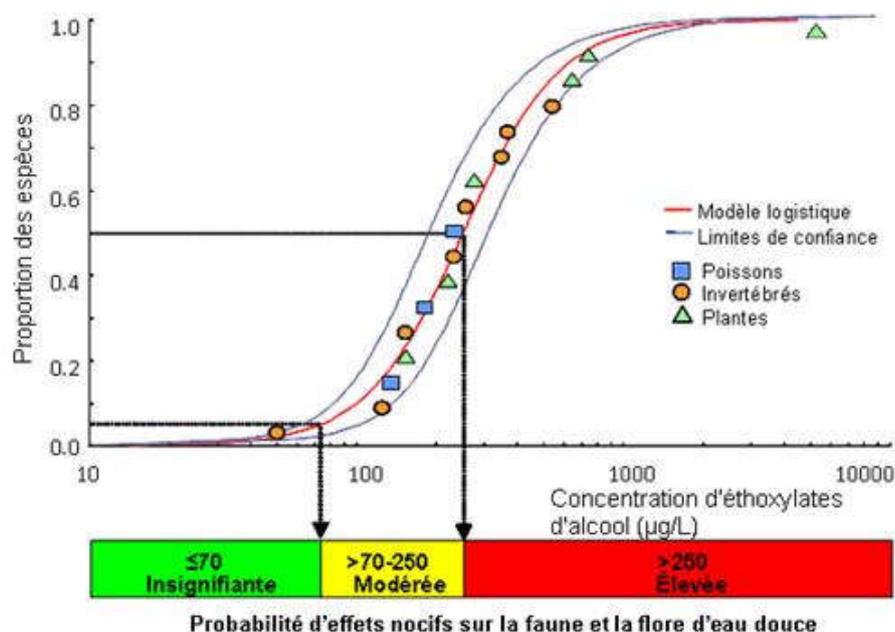
C'est l'ensemble des rejets de composés toxiques libérés par l'Homme dans le milieu récepteur (continental, océanique et atmosphérique). Certaines substances libérées sont d'origine naturelle mais présentent un danger pour les organismes et perturbent l'équilibre général de l'environnement

B. Ecotoxicologie :

Les objectifs de l'écotoxicologie sont énumérés dans le tableau III-1:

Nature de l'objectif	Description
Descriptif et dynamique	<ul style="list-style-type: none"> - Détermination des polluants - Analyse de leur circulation entre les biotopes et les communautés vivantes. - Etude des causes et des mécanismes de la pollution
D'évaluation	Permettant de résoudre les questions suivantes : <ul style="list-style-type: none"> - Quelles sont les actions produites sur les peuplements végétaux et animaux propres aux divers écosystèmes ? - Quelles sont les actions produites sur les ressources naturelles biologiques ? - Quelles sont les actions produites sur le cycle des éléments dans la biosphère ?
Détermination	Détermination des effets directs et indirects sur la santé humaine et animale.

Tableau III-1 Nature et description des objectifs de l'écotoxicologie



II. Origines des polluants et principaux éléments.

Les trois causes principales de pollution sont :

- La production et la consommation des combustibles fossiles,
- Les activités dues aux diverses industries chimiques,
- Les activités agricoles (engrais et pesticide)

Il n'existe en fait qu'un nombre restreint de substances – inertes - introduites par l'homme dans l'environnement et n'ayant aucune action sur la biosphère. Tout élément ou composé chimique est pratiquement susceptible de devenir un polluant. On peut les classer selon différents critères (nature chimique, compartiment contaminé, source d'émission et organismes cibles). Les principaux polluants sont indiqués dans le tableau suivant.

Symbole	désignation	Description
SO ₂	Dioxyde de soufre	Résulte de la combustion du charbon et du soufre
NO _x	n oxyde d'azote	Gaz émis par les installations de combustion et les véhicules automobiles
CO	Monoxyde de Carbone	Produit essentiellement par les véhicules à moteur à explosion
CO ₂	Dioxyde de Carbone	Le produit naturel de toute combustion, responsable en majeure partie de l'effet de serre. Le reste étant dû au méthane et aux fluorocarbures
	Hydrocarbures	Résultant de la combustion incomplète des carburants dans les moteurs qui génèrent des vapeurs d'hydrocarbures. C'est aussi le produit de l'utilisation de certains solvants
HCL	Acide Chlorhydrique	Il est présent dans l'atmosphère quand il ya combustion des PVC et PCV.
Poussières	Particules	Solide ou en suspension dans l'air et constituent des polluants non gazeux
O ₃	Ozone	C'est un polluant secondaire, résultant de l'action du rayonnement solaire sur les divers polluants augmentant par conséquent la présence d'ozone dans l'air jusqu'à l'atteinte de teneurs toxiques
CH ₄	Méthane	C'est le principal composé organique volatil responsable de l'accroissement de l'effet de serre
CFC	Chlorofluorocarbure	Polluants les plus impliqués dans la dégradation de la couche d'ozone
	Pesticide	
	Métaux lourds	Plomb, Cadmium, Arsenic, Mercure
	Radioéléments	

Tableau II-1 Liste des polluants et leurs caractéristiques

Les polluants sont absorbés puis accumulés et concentrés dans les organismes animaux et végétaux. Il existe un indicateur qui permet de mesurer la concentration des polluants :

$$F_c = \frac{\text{Concentration de polluants dans l'organisme}}{\text{Concentration de polluants dans le biotope}}$$

Il est nécessaire de définir la notion de bio-indicateurs, qui permettent d'évaluer la qualité de l'environnement

Les bio-indicateurs :

Ce sont des espèces végétales terrestres (exp : le lichens), ou aquatiques (exp : Algues, les moules) ainsi que des espèces animales terrestres (exp : ver de terre) qui ont une capacité de bioconcentration des éléments toxiques présents dans le milieu où ils vivent.

Ainsi, l'analyse de ces organismes permet de déceler les pollutions les plus faibles qu'il serait difficile de mettre en évidence par l'analyse directe de la terre, de l'air ou de l'eau.

III. Effets de la pollution sur l'environnement

A. Effet sur l'atmosphère :

Les effets des polluants sur l'atmosphère sont de plus en plus évident et se matérialisent essentiellement par :

1- L'accroissement de l'effet de serre :

Commençons par définir et présenter l'effet de serre. Il s'agit d'un effet naturel, à l'origine, bénéfique à la vie humaine puisqu'il permettait à l'eau de rester dans l'état liquide et minimisait le risque de glaciation. Il s'agit des gaz contenus à l'état de trace dans l'atmosphère (vapeur d'eau, CO₂, méthane, composés sulfurés et composés azotés). L'augmentation de la concentration en Gaz à Effet de Serre (GES) dans l'atmosphère, due à l'activité humaine conduit à la présence d'effet de serre ADDITIONNEL. Pour évaluer la croissance rapide des (GES), il suffit d'observer la croissance actuelle des éléments qui le constituent :

	Co ₂	Méthane	Protoxyde d'azote
Unité	Ppmv ¹⁰	Ppbv	ppbv ¹¹
Avant 400.000 ans	200 - 280	400 - 700	270
2004	380	1500	310

Tableau III-1 évolution des polluants dans le temps

L'effet de serre additionnel a pour effet un réchauffement global de la planète. Depuis 1990, la planète a connu une hausse globale de sa température, passant de 0,3 à 0,7°C en 20 ans. Le groupement Intergouvernemental d'Etude du Climat GIEC (IPCC, en anglais) nous annonce une augmentation moyenne de la température allant de 1,4 à 5,8°C de la température moyenne du globe. Cette augmentation n'est pas uniforme bien au contraire, on va assister à des événements extrêmes (tempête, cyclone, canicule, sécheresse, coup de froid, etc). Le cycle de l'eau va être modifié ce qui conduira à une sécheresse accrue dans certaines zones ; inondation et crues dans d'autres.

Ils préconisent certains déséquilibres si la température augmente de 2,5° d'ici la fin de ce 21 siècle :

- Augmentation moyenne de 65cm des niveaux marins (inondation et disparition de certaines zones côtières,
- Fonte de 50% des glaciers mondiaux,
- Changement dans les débits des rivières et les niveaux des lacs,

- Augmentation générale des températures et des précipitations, favorisant le développement des maladies et des parasites

2. L'affaiblissement de la couche d'ozone stratosphérique :

Se trouvant à près de 90% dans la stratosphère, la couche d'ozone se trouve entre 15 et 40km d'altitude. Il s'agit d'un dérivé de l'oxygène qui joue un rôle important pour la biosphère en absorbant une partie du rayonnement solaire ultra-violet et en éliminant les courtes longueurs d'onde comprises entre 240 et 300 nanomètres. Ces rayonnements et ces ondes sont reconnus à l'origine de maladies cancérogènes et mutagènes, susceptibles de détruire les cellules vivantes. En 1985, on découvre un trou dans l'ozone d'une surface supérieure à celle des Etats Unis d'Amérique au dessus du pôle sud. Les premiers accusés dans l'apparition de ce trou sont les CFC (Chlorofluorocarbure), gaz très utilisé dans l'industrie avant 1987, remplacé par le HCFC moins nocifs. La Chine continue à produire des CFC.

B. Effet sur le sol et sur les milieux aquatiques:

L'homme, par ses fonctions biologiques, rejette des déchets organiques qui seront éliminés dans les milieux récepteurs. Ces déchets plus ou moins naturels, peuvent être toxiques dans le cas d'une grande population et d'un manque de traitements appropriés.

Les activités industrielles sont beaucoup plus polluantes à cause de la consommation et de la production de produits chimiques. Les déchets évacués sont de plus en plus toxiques, leur stockage dans le milieu récepteur est nocif aussi bien pour l'environnement que pour l'Homme. Citons à titre d'exemples, l'effet du déversement d'une grande quantité de cyanure dans la rivière hongroise Tisza puis dans le fleuve du Danube en mars 2000 et ce, sur des centaines de kilomètres. On peut aussi citer le cas de la fuite d'isocyanate de méthyle dans une usine de Bhopal, en Inde. Cet accident a tué 3500 personnes et en a blessé plusieurs centaines de milliers. Autres exemples d'effets nocifs des produits chimiques mais cette fois à long terme (durant plus de trois décennies) est celui du rejet de mercure d'une usine à Minamata, au Japon qui a causé la mort et les maladies neurologiques de milliers de personnes (1960).

On peut aussi citer les Polluants Organiques Persistants (POP) à qui on lie généralement le phénomène de bioconcentration. Ces substances se lient généralement à la graisse des tissus animaux et donc plus ils vieillissent plus ils sont contaminés. Ils peuvent même se concentrer dans les chaînes alimentaires et constituer une menace pour les grands prédateurs (cas d'un Ours blanc qui mangerait des poissons contaminés à l'un des POP). Beaucoup de désastres écologiques menacent l'équilibre des systèmes et les rendent vulnérables.

C. Effet sur la santé humaine

Les premières préoccupations environnementales sont relatives aux atteintes à la santé humaine, bien plus qu'à la destruction des milieux ou la réduction de la biodiversité. Une morbidité importante (la fumée des usines, l'émission des tanneries, etc,) générée par certains processus de production est apparue avant même la révolution industrielle. De même, les déchets des villes et les égouts furent rapidement identifiés comme une source de maladies. Grâce au progrès de la médecine, la santé humaine s'est beaucoup améliorée et l'espérance de vie a augmenté. Il faut reconnaître toutefois, que plusieurs maladies infectieuses ont apparu ainsi que la propagation du cancer sous ses différentes formes.

L'activité industrielle, l'émission des gaz toxiques, des déchets liquides et solides dans l'environnement expliquent l'apparition de plusieurs maladies et cancers. La recherche médicale a permis de vaincre certaines de ces maladies, d'en réduire l'effet d'autres et elle demeure incapable de résoudre d'autres cas plus compliqués. L'effet le plus tangible de la pollution sur la santé humaine est celui de l'apparition de plusieurs formes d'allergies chroniques.

Paramètre	Concentration maximale acceptable (CMA)	Norme fondée sur :
Antimoine (Sb)	0,006 mg/L	Changements microscopiques au niveau des organes et des tissus (thymus, reins, foie, rate, thyroïde)
Arsenic (A)	0,01 mg/L	Cancer (poumon, vessie, foie et peau); effets cutanés, vasculaires et neurologiques (engourdissement et picotement des extrémités)
Bore (B)	5 mg/L	Effets sur la reproduction (atrophie testiculaire et spermatogenèse)
Baryum (Ba)	1,0 mg/L	Maladies cardiovasculaires et augmentation de la pression artérielle
Cadmium (Cd)	0,005 mg/L	Lésions rénales et ramollissement des os
Chrome (Cr)	0,05 mg/L	Grossissement du foie et irritation de la peau ainsi que du tractus gastro-intestinal et des voies respiratoires provoqués par le chrome hexavalent
Fluor (F)	1,5 mg/L	Fluorose dentaire modérée (effet cosmétique)
Nitrite/Nitrate (NO₂-NO₃)	45 mg/L sous forme de nitrate; 10 mg/L sous forme d'azote	Méthémoglobinémie (syndrome du bébé bleu), possiblement cancérigène pour l'être humain
Plomb (Pb)	0,01 mg/L	Effets biochimiques et neurocomportementaux (développement intellectuel et comportement) chez les nourrissons et les jeunes enfants, anémie, cancérigène
Sélénium (Se)	0,01 mg/L	Perte de cheveux et affaiblissement des ongles lors d'expositions extrêmement élevées
Uranium (U)	0,02 mg/L	Effets sur les reins (différentes lésions)

Changement climatique et COP21

La Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, dite « CCNUCC » (« UNFCCC » en anglais), a été adoptée au cours du sommet de la Terre de Rio de Janeiro en 1992. Elle est entrée en vigueur le 21 mars 1994 et a été ratifiée par 196 « parties » prenantes à la Convention. Cette Convention-cadre est une convention universelle de principe, qui reconnaît l'existence d'un changement climatique d'origine humaine et donne aux pays industrialisés le primat de la responsabilité pour lutter contre ce phénomène. La Conférence des parties (COP), composée de tous les États « parties », constitue l'organe suprême de la Convention. Elle se réunit chaque année lors de conférences mondiales où sont prises des décisions pour respecter les objectifs de lutte contre les changements climatiques. Les décisions sont prises à l'unanimité ou par consensus. La COP, qui se tiendra à Paris, sera la 21e d'où le nom de « COP21 ». On parle aussi de « CMP » pour désigner les États de la réunion des parties au protocole de Kyoto, Paris sera la 11e session (d'où l'abréviation « CMP11 »). La CMP veille à la mise en œuvre du protocole de Kyoto et prend des décisions pour promouvoir l'effectivité de celle-ci.

Chapitre 6 : Contraintes et défis de préservation de l'environnement

Il est communément admis la responsabilité de l'Homme dans la modification et la dégradation de son environnement. Il est plus que jamais nécessité d'agir rapidement, efficacement et durablement pour préserver l'environnement. L'action de l'Homme sera une action à long terme et globale, touchant tous les secteurs économiques et toutes les activités des ménages (Brahim,2014) :

I. Secteur agricole, 9 milliards d'individus à nourrir...

Le nombre d'hommes sur terre estimé pour l'année 2050 est de l'ordre de 9 milliards, soit un dédoublement de la population en 50 ans. Notons aussi que le nombre d'affamés dans le monde a atteint des seuils inquiétants (figure 4.1). Le prix des matières premières ne cesse de croître comme le montre la figure 4.2, rendant les défis de l'agriculture de plus en plus importants et difficiles à atteindre.

A l'échelle mondiale, les terres érables ne sont pas en pénurie (1,5 milliards d'ha, urbanisation et forêts comprises). Certes, la répartition de ces terres est inégale. Leur fertilité est aussi différente d'une zone à une autre, rendant l'autosuffisance en produits agricoles difficile à atteindre dans différentes zones du monde. Autre phénomène observé, est le passage à l'exploitation agricole inadaptée ou intensive. La terre peut devenir non productive surtout dans les zones arides (désertification). Les facteurs climatiques, vents et pluies acides, éliminent aussi la terre fertile et laissant la roche ou le sable. L'évolution technologique et scientifique en matière d'agronomie, n'a pas apportée ses fruits dans les zones où on a besoin d'un accroissement du rendement. Les variétés les plus productives nécessitent une abondance d'engrais, de pesticide et d'eau, conditions pas toujours réalisables dans les pays du sud. Elles ont aussi un effet néfaste sur les réserves en eau, déjà rares dans les pays à climat aride et semi aride et sur le sol (engrais et pesticides). Ces derniers sont pour certains, extrait de ressources fossiles à réserves limitées (le phosphate et la potasse). D'autres, comme les engrais azotés, sont fabriqués avec d'importantes quantités de gaz naturel ; quant aux pesticides, ils proviennent de la pétrochimie et donc leurs prix sont fortement corrélés à ceux du pétrole et du gaz naturel.

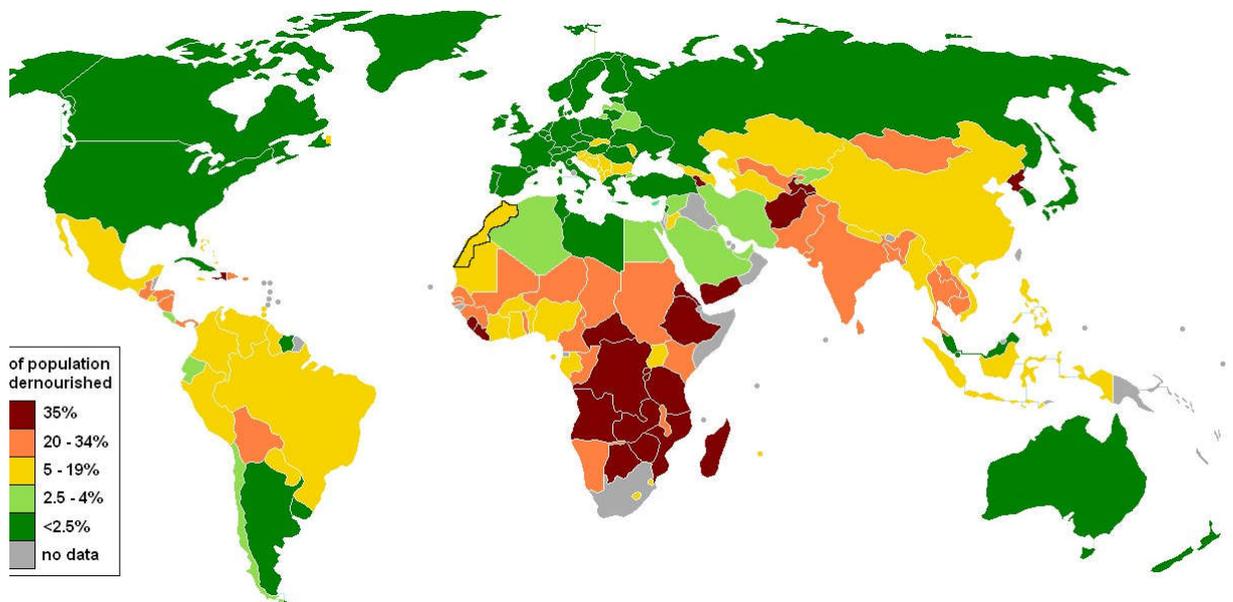


Figure 14 : La sous alimentation dans le monde

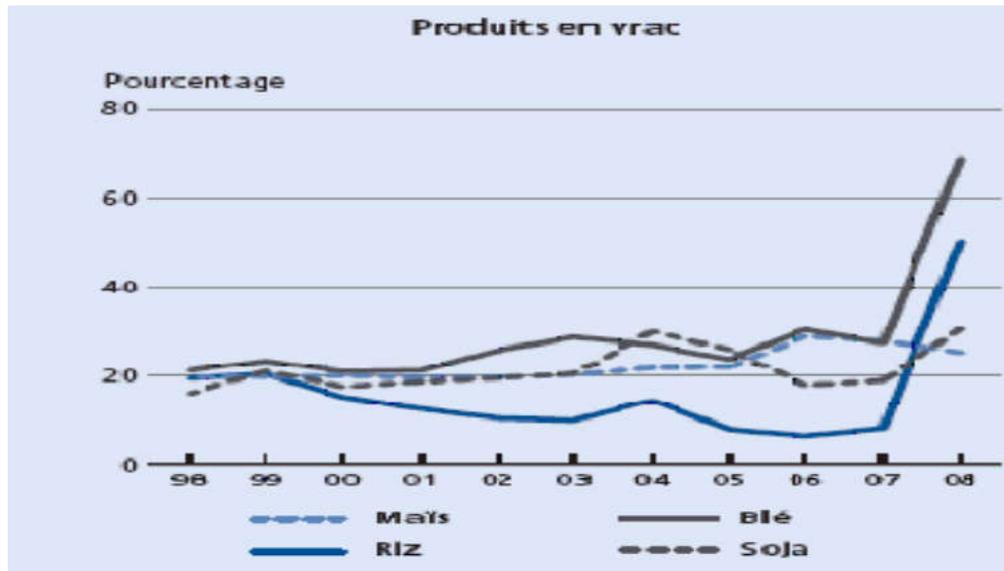


Figure 15 : Evolution du prix du blé, riz, maïs et soja 1998-2008

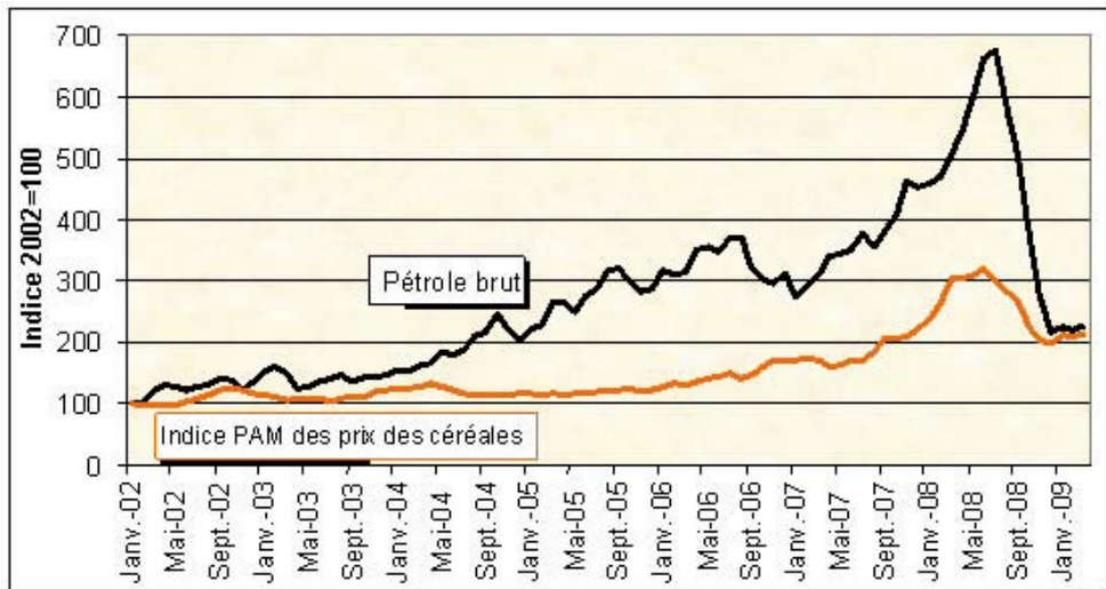


Figure 16 : La corrélation entre le prix du blé et celui du pétrole

Ce que nous observons depuis plusieurs années, c'est une certaine résistance des nuisibles aux insecticides, réduisant les rendements agricoles et augmentant le prix de ces produits et leur toxicité en conséquence. Une action rapide est nécessaire pour préserver les ressources naturelles et protéger le secteur agricole, fragilisé par une demande croissante des pays à forte densité démographiques qui ont certes de faibles rendements agricoles. Les actions peuvent se résumer en :

A. Une diversification des exploitations :

- Exploitation plus diversifiée et donc moins vulnérable aux ravageurs.
- Rotation des cultures.
- Recyclage des déchets pour créer des écosystèmes super productifs avec des plantations diversifiées (arbres et plantes annuelles= agroforêt) .

B. Irrigation minimale mais meilleure

- Systèmes d'irrigation économe, (goutte à goutte, asperseurs, etc.)
- Réutilisation des eaux usées traitées (avec contrôle de la qualité et de la production).

- Petites retenues d'eau, aux murets et aux terrasses consolidées par les arbres.

C. Plantation adaptée

- Plantes plus productives.
- Plantes plus résistantes aux sels.
- Plantes plus résistantes à l'aridité et aux ravageurs.

D. Suppression du labour

On peut utiliser des moyens moins agressifs que le labour, comme disposer les graines dans des trous profonds ou sillons (économie d'énergie et préservation de la fertilité des terres).

E. Recours aux légumineuses

La réduction des fertilisants phosphatés est possible en produisant plus de légumineuses (luzerne, sainfoin, pois, etc.). Ces produits enrichissent considérablement le sol en azote sans recours au gaz naturel mais plutôt à l'énergie solaire

G. Investir dans les hommes

- Education et formation continue
- Octroi de crédit
- Aide sociale pour intégration

II. Industrie, produire avec moins.

Depuis quelques années, le prix de certaines matières premières connaît une envolée inégale. Citons à titre d'exemple, le prix du pétrole, du fer, du cuivre ou de l'aluminium. Comme il a été expliqué dans le chapitre 2, le prix du pétrole n'a cessé de croître à cause des enjeux géopolitiques au moyen orient et à la raréfaction anticipée de la ressource. En ce qui concerne le fer, l'industrie chinoise gourmande en ce produit a une demande très forte que l'offre a du mal à suivre. En effet, l'ouverture de nouvelles mines peut prendre de 7 à 10 ans rendant cette ressource précieuse.

Le plus alarmant, serait la pénurie anticipée des ressources fossiles. En effet, pour les produits chimiques, il existe toujours des solutions de substitution. Ajouté à cela, le fait que ces produits restent en circulation et peuvent être récupérés (cas de l'or), chose qui n'est pas possible pour l'énergie fossile. La ressource, brûlée, n'a pas de chance d'être reconstituée ou réutilisée. Une pénurie est aussi annoncée pour ces ressources fossiles, surtout pour le gaz et le pétrole.

Il est donc impensable, que l'industrie dépendrait des spéculations des producteurs ainsi que des aléas de la demande mondiale et particulièrement celle de la Chine. Plusieurs actions sont possibles :

A. Introduction de nouveaux matériaux

- Matériaux plus légers,
- Matériaux biodégradable

B. Réserve du pétrole aux usages nobles

- Engrais, solvant, plastique, nylon, résine et lubrifiants
- Voitures roulants sans pétrole

C. Amélioration de l'efficacité énergétique

- Moins de consommation de carburant (exp : usage des bicyclettes en ville).
- Appareils industriels nécessitant moins de carburant.
- Minimiser la circulation (usage des moyens informatiques pour la circulation du courrier, paiement de facture, etc.)

D. Recyclage

- Les déchets de certaines industries peuvent devenir de la matière première pour d'autres

- Recyclage interne au sein d'une même entreprise industrielle (exp : eau usée traitée puis introduite dans les chaîne de production comme eau de refroidissement, recharge des cartouches, etc).

E. Location des produits

Il s'agit de louer le produit le temps de l'usage, ce qui limite les quantités produites, réduit les coûts de production et augmente la durée de vie du produit. (produits de circulation : voiture, bicyclette, etc)

III. Déchets, valoriser plutôt que jeter.

La population mondiale collecte entre 2,5 et 4 milliards de tonnes de déchets (hors construction et démolition, mines et agriculture). Un grand nombre de décharges publiques sont arrivées à saturation et la gestion des déchets devient de plus en plus difficile. En effet, les déchets s'accumulent, les incinérateurs polluent et les recyclages sont à la traîne. Nous observons aussi, que malgré une réglementation stricte, près de la moitié des rejets de déchets dans le monde se fait en toute illégalité, surtout dans les pays en développement (PED).

En effet, plus des 70% des déchets industriels dans les pays en développement sont déversés directement déversés dans les eaux sans aucun traitement. Un taux inquiétant et menaçant l'environnement aquatique. Autres menaces, celles des importations des pays industrialisés vers l'Afrique ou l'Asie et s'en débarrasser au moindre coût, sans traitement ni tri. La circulation des déchets dans le monde reste pour la moitié illégale.

Au niveau des pays développés, le classement des déchets selon le degré de toxicité reste encore à débattre puisqu'on peut trouver dans des déchets banals des produits toxiques. Des chiffres intrigants montrent que les pays industrialisés produisent les plus grands taux de déchets dans le monde, soit 700kg/an pour un Américain contre 540 et 120 pour un européen ou un Africain.

Un marché parallèle a vu le jour et se développe à grande vitesse est celui de la vente des déchets. Un marché porteur, surtout pour la ferraille et le papier. Il représente une meilleure alternative que l'incinération (100 €/T) et la mise en décharge (80€/T). Il s'agit là d'une forme de valorisation des déchets parmi d'autres solutions efficaces :

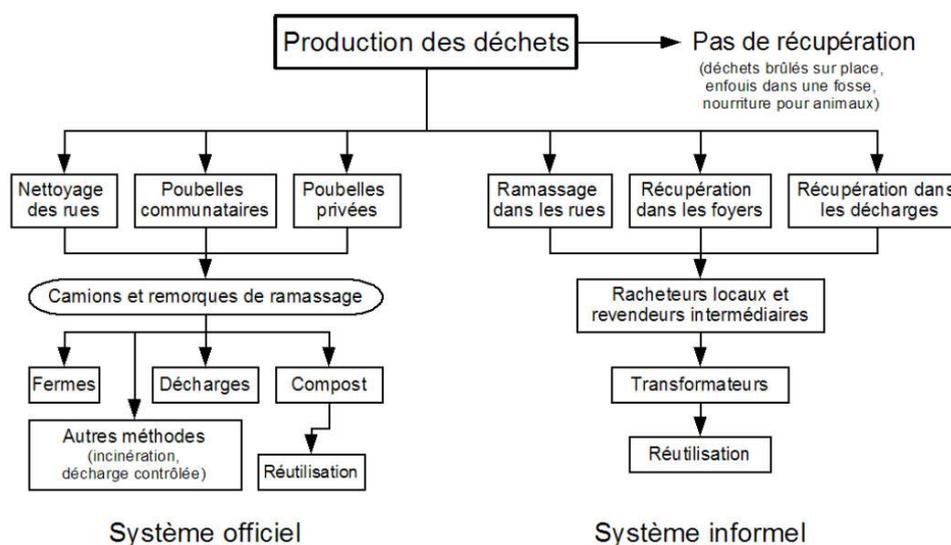


Figure 17 : Système de gestion des déchets

A. Incinération pour produire de l'énergie

Cette technique permet de réduire les déchets biodégradables en gaz. Le problème qui se pose est que la constitution des déchets à incinérer n'est pas connue d'avance pour pouvoir estimer la quantité de fioul obtenu (ordre de grandeur : 5 à 7 tonnes de déchets pour obtenir 1 tonne de fioul). Un tri convenable des déchets (recyclage du verre et des métaux qui ne brûlent pas, déchets fermentescibles humides comme les déchets de cuisine). Si on élimine aussi le papier et le carton pour

le recyclage, la quantité d'énergie produite diminue. Cette méthode a été classée très peu rentable vu les rendements en énergie et comparés à ceux rendus par d'autres techniques de recyclage, plus respectueuses de l'environnement.

B. Transformation en gaz et nouveaux carburants

Il s'agit de ne pas brûler directement les déchets mais les transformer par procédé de thermolyse en carburant plus efficace.

La technique consiste à chauffer les déchets à plus de 350 et 700° en l'absence d'oxygène. Les matières organiques se séparent ainsi, en gaz et en solide. A la fin du procédé, un produit similaire au charbon (de basse qualité) appelé « coke » est réutilisé dans les secteurs industriels comme la sidérurgie, cimenterie, centrale électrique et chaufferie, gourmands en combustibles. Ce projet est encore au stade de l'expérimentation. Autres techniques sont efficaces comme la torche à plasma¹²

C. Utilisation pour le compostage.

Ils sont au stade de l'expérimentation et d'amélioration de l'efficacité. Il s'agit d'une forme de valorisation des déchets organiques (végétaux, déchets de cuisine, papiers, boues d'épandage des stations d'épuration) par fermentation en présence d'oxygène par des micro- et des macro-organismes (lombrics, cloportes). A la fin d'une période de 4 mois, on obtient un type de terreau riche en nutriments, pouvant servir comme engrais pour les cultures. L'expérience a bien réussi en Alexandrie, en Egypte, où on utilise le quart des déchets pour fertiliser les terres gagnées par le désert.

D. Recyclage maximal.

Augmenter le taux de recyclage de certains produits. C'est le cas des voitures actuelles dont le taux de recyclage a atteint 85%, il devrait passer à 95% pour l'année 2015. Il faudrait donc considérer cet aspect de recyclage dès la conception des éléments qui constituent le produit finaux.

IV. Air et eau, enrayer la pollution

La pollution de l'air et de l'eau affecte sensiblement la santé humaine. Plus de 75000 cas de décès par an, causés par des maladies pulmonaires, cardio-vasculaires ou vasculaires cérébrales sont enregistrés en Chine. Les principaux facteurs recensés sont les particules solides et liquides dans l'air, chargés de sulfates, nitrates, ammonium, composés organiques et métaux lourds. Il en est de même pour les fleuves chinois où 54% sont impropres à la consommation. Chose qui explique le taux élevé de malades des cancers digestifs. Un autre facteur est alarmant est celui du réchauffement climatique qui contribuent à la prolifération de certains polluants (Ozone). L'eau est aussi polluée par les rejets toxiques dans les milieux aquatiques. Les potentielles actions à entreprendre sont :

A. Arrêt des émissions de polluants à la source

- Conception de moteurs plus efficaces pour limiter les rejets des pots d'échappement
- Amélioration des pots catalytiques
- Renforcement de la législation concernant les matériaux produits
- Diminution de l'application de polluants à la surface du sol
- Limitation des entrées de micropolluants comme les médicaments

B. Dépollution grâce à la lumière naturelle

Cela consiste à exploiter la lumière du soleil pour dépolluer l'eau et l'air. Ce principe est possible grâce au photocatalyse ¹³

C. Réutilisation des eaux usées traitées

La réutilisation des eaux usées traitées (EUT) permet de réduire les rejets dans le milieu récepteur. Plusieurs applications sont possibles. Les usages les plus fréquents sont :

- la réutilisation agricole

- Arrosage des parcours de golfe
- Arrosage des espaces verts et lavage des parcs

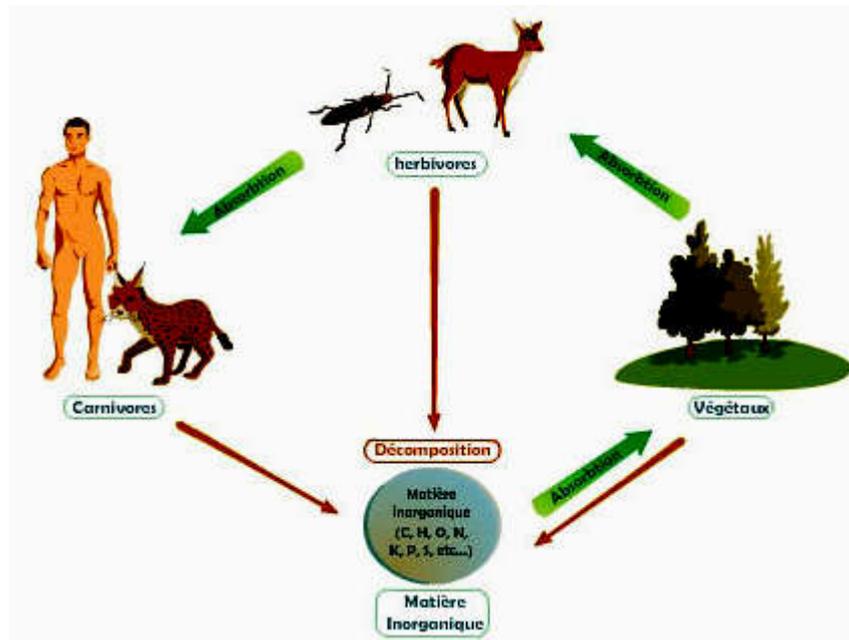
D. Recharge des nappes souterraines

Les EUT ainsi que les déchets nucléaires peuvent être stockés dans des nappes souterraines (à différentes profondeurs et selon le type de polluant). Les effets d'une telle action à long terme ne sont pas encore évalués après l'étape d'entrée des polluants.

V. Les écosystèmes, préserver la biodiversité.

Notions d'écosystème et de biodiversité

Un écosystème est défini comme l'ensemble des organismes vivants (plantes, animaux et microorganismes) qui interagissent entre eux et avec le milieu (sol, climat, eau, lumière...) dans lequel ils vivent.



Dans un écosystème, les végétaux permettent d'alimenter les herbivores puis eux-mêmes les carnivores. A la mort des êtres vivants, animaux et végétaux sont décomposés grâce à des microorganismes qui permettent de remettre dans les sols des éléments nutritifs pour la croissance des végétaux et le cycle recommence.

La biodiversité ou diversité biologique, représente toutes les formes du vivant c'est-à-dire la totalité des gènes et des espèces des écosystèmes. Elle comprend les espèces animales, les espèces végétales et les microorganismes.

La modification de l'environnement par l'homme ne fait que croître : grandes routes, bâtiments, usines, chantiers, etc. Les conséquences de ces actions se matérialisent par la modification des écosystèmes, la raréfaction de la faune et de la flore (16000 animaux et plantes menacés) voire, leur extinction (au cours des dernières années, on recense plus de 260 extinctions de vertébrés, soit une multiplication du rythme d'extinction par plus de 100). La disparition de Certaines espèces perturbe les écosystèmes et les services rendus par ces variétés de plantes et d'animaux. Ces services se divisent en trois catégories :

- Services d'approvisionnement : nourriture, eau douce, bois, stock génétique, etc.
- Services de régulation : stabilisation du climat, régulation des inondations ou l'érosion, assainissement des eaux usées, l'air et les sols contaminés
- Services culturels : divertissement, culture, esthétique et spiritualité. Afin de préserver les ressources naturelles de faune et de flore, il faut :

A. Création d'espaces protégés

Les espaces protégés dans le monde couvrent 11,6% du globe (antarctique compris). Une grande partie de ces espaces protégés sont dans les pays pauvres, incapables de préserver réellement ces espaces uniques par leurs caractéristiques de biodiversité.

B. Développement des modes d'exploitation durables

- Imposition de méthodes d'exploitation (pêche, chasse, sylviculture, agriculture, exploitation minière, etc.) raisonnées et protectrice
- Instauration d'une réglementation de sanction et de mécanismes d'incitation à la préservation de l'environnement écologique.

C. Protection des espèces

Il faut instaurer des conventions pour protéger les espèces végétales et animales menacées

D. Rémunération des services environnementaux

Le paiement des services environnementaux consiste à fournir une incitation directe aux propriétaires terriens à respecter l'environnement et à ne pas modifier les espaces. Il s'agit donc d'une motivation à intégrer la dimension environnementale dans leurs décisions.

VI. Urbanisme, repenser la ville.

Partout dans le monde, les villes ne cessent de s'étaler. Citons le cas de l'Europe où plus de 75% de la population est urbaine. Il a été aussi constaté qu'en vingt ans, les superficies des zones urbaines a augmenté, quatre fois plus vite que la population. L'étalement des zones urbaines est attrayant mais présente des inconvénients pour celui qui se déplace ainsi que pour la pollution de l'air par les véhicules. Les parcelles périurbaines sont de plus en plus envahies par les constructions de pavillons individuels. La nouvelle politique qui contribue à la préservation de l'environnement consiste en :

A. Construction des villes plus compactes

Les logements collectifs (immeubles à plusieurs étages) sont plus recommandés que les pavillons individuels pour limiter l'étalement de la ville vers les zones agricoles voisines.

B. Mélange de lieux de vie, de travail et de commerce

Pour minimiser les déplacements, il est nécessaire de concevoir des villes où se réunit lieux de travaux, de vie et de commerce.

C. Construction en boucle

Le réseau de transport collectif ne doit plus se faire sur un mode radial (les lignes convergent vers la ville) alors que celui des routes est à la fois radial et en rocade. Dans le cas contraire on favorise le déplacement par voiture et donc plus de pollution et de consommation d'énergie.

D. Plus d'espace verts dans les quartiers

- Plus de végétal (toiture, bordure de rue, parking)
- Plus de jardins collectifs

E. Utilisation des énergies locales

- Chaleur à partir du soleil
- Utilisation des biogaz
- Géothermie

Chapitre 7 : Les mécanismes économiques, juridiques et réglementaires de préservation de l'environnement

L'environnement est un bien public « gratuit » accessible à tout le monde. Cette « gratuité » a abouti à un gaspillage des ressources naturelles et à des changements climatiques (épuisement des matières premières, accumulation des déchets, nuisances insupportables, menaces sur la vie) compromettant les possibilités de développement durable. Être conscient de ces faits est insuffisant, il est donc urgent que les autorités publiques interviennent en utilisant, sans a priori, tous les instruments disponibles pour préserver le milieu naturel. L'analyse économique peut accompagner les pouvoirs politiques dans leurs choix en leur proposant de nouveaux instruments.

Les instruments de l'intervention publique en matière d'environnement sont classés en deux grandes catégories : les instruments réglementaires (qui fixent des normes qui portent sur les procédés techniques ou sur les volumes d'émissions polluantes) et les instruments dits économiques (principalement les écotaxes et les marchés de permis d'émissions mais aussi les crédits d'impôts et les subventions).

I. Le rôle des pouvoirs publics dans la résolution des problèmes environnementaux (Brahim,2014)

Commençons par définir la notion d'externalité :

L'**externalité** est la conséquence de l'action d'un agent économique sur d'autres agents sans que celle-ci soit prise en compte par le marché, sous la forme d'une compensation ou d'une rémunération grâce au système de prix. Elle peut être **positive** quand elle procure une amélioration de bien être pour un autre agent ou **négative** quand elle se traduit par la diminution de bien être pour d'autres agents (exp : La construction d'une prison fait chuter la valeur immobilière des propriétés aux alentours). La pollution serait l'exemple type d'une externalité négative.

Pour arriver à une situation optimale (pareto-optimale), correspondant à une richesse totale (ou collective) maximale, le coût externe lié à la pollution doit être considéré par le marché, en l'occurrence par le pollueur. Cette action correspond à une internalisation des externalités. L'internalisation consiste à faire peser sur les agents économiques la totalité des coûts de leurs actions. Un des moyens d'y parvenir est de taxer les pollueurs.

De nombreuses études ont montré que le recours aux écotaxes présentait des avantages évidents. Si on suppose que le niveau de dépollution à atteindre, par la baisse de la production génératrice d'externalités, soit une donnée exogène résultant d'une **décision politique**, l'analyse économique se focalise dans ce cas, sur le choix du moyen qui permet d'atteindre l'objectif de dépollution au moindre coût. La fiscalité écologique a pour objectif de corriger les imperfections de marché et non pas de collecter des ressources de la manière la plus neutre possible. La fiscalité se substitue donc aux normes pour faire baisser la pollution et ce, en amenant le coût privé de la production au niveau du coût social (ce dernier inclut les dommages causés aux autres agents principe du pollueur-payeur).

L'appréciation du coût social des dommages correspondant entre autres, à l'évaluation du niveau de dépollution ainsi que l'évaluation de la réactivité des comportements aux coûts est difficile. Quoi qu'il en soit, la taxe est, dans la plupart des cas, jugée plus efficace (plus efficace car moins coûteuse que la norme d'émission).

En effet, contrairement à la norme d'émission, la taxe (par unité de pollution) laisse un choix à l'entreprise réglementée. L'entreprise se trouve face à deux choix :

- maintenir le niveau de ses émissions. Elle évite alors des dépenses d'améliorations de ses performances environnementales mais paie une taxe totale élevée. Les sommes ainsi collectées pourront financer des dépenses de préservation de l'environnement.
- choisir de réduire les émissions polluantes. Ce qui entraîne des dépenses d'amélioration de ses performances environnementales, mais diminue sa dépense fiscale.

L'écotaxe est un moyen d'inciter le pollueur à dépolluer jusqu'à ce que le coût de dépollution soit égal au montant de la taxe. Ceci implique des technologies de production dans l'entreprise plus moderne et donc moins coûteuse. La politique de dépollution par la taxe est moins coûteuse que la mise en place d'une norme quantitative uniforme. C'est d'autant plus vrai en situation d'information imparfaite. L'objectif de dépollution du décideur gouvernemental peut s'effectuer en plusieurs étapes, en modifiant à chaque fois le niveau de la taxe. S'il le niveau d'émission est trop élevé, le niveau de la taxe est augmenté. Le processus permettant d'atteindre l'objectif fixé s'effectue par tâtonnements. Les écotaxes permettent de dépasser les normes préexistantes.

II. L'option envisageable des solutions privées

Afin de présenter cette option, nous énonçons le théorème de Coase : la « négociation bilatérale. Il a été énoncé pour la première fois par Stigler. Il suggère que si les droits de propriété sont définis (un agent privé, que ce soit le pollueur ou le pollué, est alors propriétaire de la rivière, du lac ou de la forêt) et **si les coûts de transaction sont nuls** (l'identification des partenaires de l'accord, la rédaction du contrat, le suivi de sa bonne exécution, la mise en place d'un système de sanction en cas de défection ne doivent rien coûter) les agents, par la négociation, corrigent d'eux-mêmes les externalités pour arriver à une situation optimale. Cependant, Coase lui-même, réfute l'hypothèse des coûts de transaction nuls (il faut au moins justifier l'existence de la firme) et précise qu'« *il est nécessaire d'introduire explicitement des coûts de transaction positifs dans l'analyse économique pour étudier le monde tel qu'il existe* ». Il existe d'autres solutions privées :

- « **Les deux entreprises au fil de l'eau** » (la polluante et la polluée) peuvent fusionner. La nouvelle entreprise (polluante et polluée) après fusion va opter pour un niveau de rejets égal à l'optimum de pollution
- Le **marché de permis d'émission négociables** (solution élaborée par Dales en 1968) Les solutions de réduction de la pollution établie dans ce contexte de marché boursier sont les suivantes :
 - la réglementation administrative (norme ou taxe)
 - la négociation bilatérale
 - l'entreprise
 - le marché

La solution choisie correspond à l'objectif de minimisation des coûts de transaction. Si le coût de la réglementation est inférieur au coût de la négociation bilatérale, au coût administratif de l'entreprise et au coût du marché, le choix le plus favorable pour la collectivité sera celui de la réglementation. Cet objectif est lié à une condition de réalisation : les bénéfices qui résultent de la mise en œuvre de la solution doivent être supérieurs aux coûts de transaction. Sinon, la meilleure option pour la collectivité est encore de ne rien faire (une issue qu'il ne faut jamais écarter d'emblée).

III. Les politiques environnementales actuelles

Basée sur les instruments économiques, les politiques environnementales actuelles reposent moins sur les instruments réglementaires comme les normes (prescrivent aux agents les comportements qu'ils doivent suivre). En effet l'utilisation des normes présente, selon Boemare et Hourcade, des effets « pervers » :

- les normes entraînent des surcoûts expliqués par la difficulté de considérer la diversité des solutions afin d'exiger des efforts de dépollution différenciés.
- les normes peuvent dans certains cas ne pas garantir la baisse des émissions totales. Un exemple cité par Vujisic (2007) est celui du « moteur plus propre ». Ce dernier est souvent plus économe, il permet de rouler davantage pour un même budget et affecte donc la compétitivité du rail (plus respectueux de l'environnement) par rapport à la route ; la solution passe par une augmentation du prix du carburant au prorata des gains d'efficacité.
- Les normes se négocient entre administrations et industries (« marchandage de la réglementation avec l'industrie »). Il est donc difficile de savoir d'avance si la norme est trop lâche ou si elle s'avère trop contraignante.

- Les normes sont susceptibles d'être manipulées. Les acteurs influents peuvent être tentés d'édicter des normes qui correspondent à leurs intérêts au détriment de certains concurrents (petites entreprises, firmes étrangères) .

Les instruments économiques offrent à chaque acteur une marge de liberté pour choisir de s'ajuster ou de payer. Ce fait, assure une répartition moins coûteuse des efforts de dépollution entre pollueurs et se révèle à la fin, plus efficace en matière de lutte contre la pollution.

A. Le principe de pollueur – payeur

Le **principe pollueur-payeur** a été développé par l'économiste libéral Arthur Cecil Pigou au début des années 1920. Il a été adopté par l'OCDE en 1972, en tant que principe économique visant la prise en charge, par le pollueur, des « coûts de mesures de prévention et de lutte contre la pollution arrêtées par les pouvoirs publics pour que l'environnement soit dans un état acceptable ». Il est à l'origine de l'internalisation des coûts de pollution par les auteurs de la pollution par le biais :

- d'instruments réglementaires (normes, interdictions, permis, zonages, quotas, restrictions d'utilisation et autres réglementations directes),
- d'instruments économiques (redevances, subventions, systèmes de consignation, création de marchés, incitations à la mise en conformité),
- d'instruments fiscaux. Appelés aussi la fiscalité verte.

B. La fiscalité écologique : les écotaxes

Essayons d'analyser un cas de figure très connu, celui des « taxes énergétiques ». Elles visent à faire payer les pollueurs sans influencer directement et à court terme la quantité de pollution. Elles sont destinées dans une logique purement pigouvienne à modifier les comportements et non à percevoir des recettes. Quoiqu'il en soit les recettes collectées, elles pourront aussi être mises au service de la sauvegarde de l'environnement à travers les subventions qui aideront à la mise en place d'une technologie plus « propre » ou qui iront directement en direction des entreprises qui décideront de diminuer leur activité polluante. Voici quelques exemples de pays développés ayant optés pour les écotaxes :

- Au Danemark : une taxe sur l'énergie a été mise en place après les chocs pétroliers et s'applique aujourd'hui à toutes les formes d'énergie. En 1991 a été instaurée, pour contribuer à la lutte contre l'effet de serre, une taxe sur les émissions de dioxyde de carbone, fixée au départ à 13 euros la tonne de CO₂, mais avec des exemptions partielles pour les entreprises intensives en énergie. En 1995, la taxe de CO₂ est passée à 80 euros la tonne, mais les entreprises ont bénéficié en échange de réduction de charges sociales. Les écotaxes ont rapporté 320 millions d'euros à l'Etat en 2000, et ces recettes ont été affectées pour 233 millions d'euros aux réductions de charges.

- En Irlande : la taxe irlandaise sur les sacs de caisses en plastique. En 2002, une taxe de 15 centimes d'euro a été instaurée sur chaque sac distribué. En un an, la consommation de sacs a été réduite de 90%.

- Au Norvège : les taxes sur le CO₂, entrées en vigueur en 1991 ont permis de réduire les émissions des installations fixes de combustion de 21 % par an.

S'agissant du double dividende 17

- En France, le projet de généralisation aux consommations intermédiaires d'énergie de la Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP), avancé en 1999, visait à inciter les entreprises à réduire leurs émissions polluantes. Il a rapidement buté sur le fait que tout prélèvement représentait une charge importante sur certaines industries très intensives en énergie (sidérurgie, métallurgie non ferreuse, cimenterie, etc.) alors même que les possibilités de réduction des consommations d'énergie y étaient souvent très limitées. L'objectif de réduction des consommations d'énergie entrainait en conflit avec, d'une part, l'objectif d'allocation (risque de délocalisation des industries concernées) et d'autre part, avec l'objectif d'équité (certaines industries se trouvant pénalisées par rapport à d'autres moins consommatrices d'énergie). Ce projet s'est heurté à l'opposition des entreprises puis à une décision d'invalidation du conseil constitutionnel en raison de l'inégalité des

contribuables devant l'impôt que cette loi aurait entraînée en raison d'un mode de calcul très complexe.

C. Le marché des permis d'émission négociables

La politique fédérale de normes d'émissions fixées et contrôlées par l'Agence de protection de l'environnement aux Etats-Unis a échoué entraînant par la suite l'apparition d'un nouveau mécanisme de régulation, à savoir, les permis d'émission négociables. En effet, dans de nombreuses régions, les normes d'émissions prescrites n'ont pas été atteintes. L'installation de nouvelles usines a alors été interdite. Une dérogation a été prévue pour les nouveaux industriels qui disposent de licences cédées par les pollueurs historiques, ces derniers réduisant leurs émissions d'autant. Cette première décision de commercialiser des permis de pollution est une forme de conciliation de la protection de l'environnement et de la croissance économique. Par la suite cet instrument a été adopté par de nombreux pays. Le protocole de Kyoto en fait un de ses instruments privilégiés.

1. Solution privée négociée

Les solutions privées qui mettent en relation directement les pollueurs avec les pollués existent mais elles ne sont pas répandues. On peut citer l'exemple, emprunté à F.Lévêque, de la négociation entre Volvo et British Petroleum [Henry 1994] : BP décide d'adopter un pétrole moins léger et contenant plus de soufre pour diminuer ses coûts d'achat de matières premières. Mais cela entraîne des émissions plus corrosives qui endommagent les carrosseries des véhicules du constructeur parkés à proximité. Une négociation s'engage entre les deux parties. Il est décidé que BP prendra à sa charge la réparation du préjudice subi par Volvo. La solution technique retenue est la couverture des aires de stockage des voitures. Cette solution se révèle moins coûteuse que l'installation de filtres de désulfuration à la sortie des cheminées de la raffinerie...

On le voit immédiatement, cette solution satisfaisante sur le plan local et sur le plan économique ne l'est pas du tout sur un plan écologique. La solution adoptée est totalement incomplète : une partie seulement des externalités a été internalisée. Les émissions corrosives de soufre n'ont pas été interrompues et elles continueront sans doute de générer des externalités négatives, notamment pour les générations futures.

Pour qu'elle soit totalement efficace, la solution négociée doit être complète et doit concerner toutes les parties présentes et futures victimes du préjudice.

Cette solution est par conséquent très onéreuse dès lors que le nombre de parties concernées est élevé ; ce qui est généralement le cas pour les problèmes de pollution. La présence de plusieurs pollués et pollueurs renchérit : les coûts de recherche de l'information (sur la responsabilité de chaque pollueur, la hauteur des préjudices subis par chaque pollué...) préalable à la rédaction du contrat ; les coûts d'organisation de la négociation ; les coûts de contrôle des engagements contractuels, etc.

Du fait des coûts élevés de négociation, la solution privée la plus fréquente ne comporte pas de négociation avec les pollués. Elle prend la forme d'engagements de réduction des émissions pris unilatéralement par les pollueurs.

2. Le marché des permis d'émissions négociables.

Cet instrument est utilisé initialement aux Etats-Unis et avec le protocole de Kyoto, il connaît une nouvelle impulsion. Pour sa part l'Europe propose depuis 2005 l'instauration d'un système d'échange de quotas de gaz à effet de serre pour les industries intensives en énergie et les producteurs d'électricité dans l'espace économique européen. Ce marché prévu initialement pour le dioxyde de carbone (CO₂) devrait être élargi aux autres GES et à d'autres activités que celles initialement prévues.

a. fonctionnement des marchés de permis d'émission

Au cours de chaque période, chaque participant se voit allouer une quantité de quotas d'émission qu'il peut échanger, chaque quota correspond à une unité de polluant (ex : une tonne de CO₂ ou une tonne de SO₂, dioxyde de soufre). A la fin de la période, tout participant devra détenir suffisamment de quotas pour couvrir son niveau d'émission réel. La quantité totale de quotas allouée correspond donc à la contrainte environnementale globale imposée par les pouvoirs publics. Le système d'échange permet par le simple jeu du marchandage, d'établir un prix pour le quota (ex : 25 € la tonne de CO₂). Les entreprises, compte tenu de leur technologie, dont le coût marginal de réduction des émissions est supérieur au prix de marché du quota, chercheront à acheter la quantité de quotas pour couvrir leurs émissions aux entreprises qui auront un coût de réduction des émissions inférieur au prix du quota. Ces dernières réduiront leurs émissions et bénéficieront de la vente de leurs droits jusqu'à ce que le coût marginal de réduction atteigne le prix du marché. Il est donc avantageux pour tous les acteurs d'échanger leurs droits sur ce marché. Ce mécanisme permet donc de réduire les surcoûts associés à la limitation des émissions, car on permet la mise en œuvre des réductions là où les coûts correspondants sont les plus faibles.

L'instauration de permis négociables permet, contrairement aux écotaxes, de maîtriser directement la quantité d'émission des activités concernées par le marché. L'allocation initiale des droits accordés peut se faire gratuitement ou aux enchères. Une allocation aux enchères présente l'avantage de révéler une information sur le niveau des coûts de réduction, alors que l'allocation gratuite prend en compte les caractéristiques de la situation initiale, héritée d'une histoire dans laquelle le souci environnemental était partiellement ou totalement absent. Selon Delalande (2003), le marché de permis négociable suppose la mise en place d'un certain nombre de règles bien précises :

- Définir la nature juridique des quotas d'émission. Est-ce que ce sont des titres financiers à part entière ou relèvent-ils de la catégorie des autorisations administratives (susceptibles de circuler) délivrées par l'Etat dans le cadre de sa mission de service public (préservation de la qualité de l'air et de la santé publique) ?

- Instaurer un système de surveillance et de contrôle d'émissions. Ceci constitue une condition du bon fonctionnement du marché. La mise en place du marché suppose donc un renforcement du contrôle des émissions, voire un contrôle continu au lieu de contrôles ponctuels. Citons l'exemple des Etats-Unis, en ce qui concerne le marché du SO₂, l'Agence pour la protection de l'environnement comptabilise les émissions réelles et les échanges de quotas en volume. Elle vérifie que chaque centrale détient au moins autant de quotas que d'émissions réelles. La gestion des échanges financiers de quotas n'est pas de sa responsabilité, elle est laissée aux opérateurs boursiers.

- Mettre en place un système de sanctions. Celui-ci a pour objet de dissuader les entreprises de dépasser les émissions autorisées. Aux Etats-Unis, dans le cadre du marché du SO₂, la pénalité est non libératoire. Autrement dit, pour tout excès d'émission, l'entreprise perd à la période suivante l'équivalent de quotas. Mais surtout le montant de la pénalité est dix fois le haut de la fourchette du prix constaté sur le marché.

- veiller à assurer la liquidité du marché. Aux Etats-Unis, sur le marché du SO₂, une part des allocations des participants est retenue (2,8%) puis proposée aux enchères. Cette mise aux enchères garantit aux nouveaux entrants la possibilité d'acheter des quantités importantes de quotas.

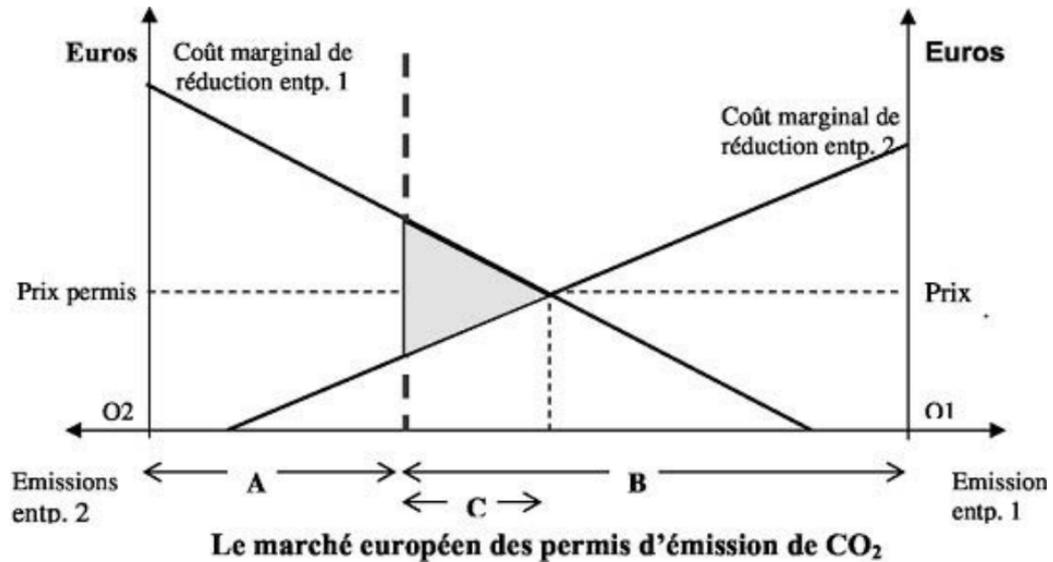


Figure 18 : Le marché des permis d'émission de CO₂

b. Le marché des permis d'émissions : le cas du protocole de Kyoto.

C'est avec le Protocole de Kyoto que les marchés de permis d'émission, appelés «marché des droits à polluer», vont être concrètement envisagés en Europe et en France dans le cadre des politiques environnementales. La création d'un marché international de CO₂, qui devrait être opérationnel en 2008, constitue une des dispositions les plus spectaculaires du texte finalement adopté. Depuis, l'Union européenne a mis en chantier une directive organisant un marché de quotas d'émission de CO₂ s'appliquant à plusieurs secteurs industriels et concernant plusieurs milliers d'installations industrielles sur toute l'Europe, directive qui est entrée en vigueur en 2005.

En 1992, une convention-cadre sur les changements climatiques était adoptée par 166 pays, dans le cadre du sommet mondial de Rio. En 1997, ce texte était complété par le protocole de Kyoto. Celui-ci quantifiait l'engagement de principe pris en 1992 par les pays développés de réduire leurs émissions. Au stade actuel du processus, les pays du Sud ne sont soumis à aucune contrainte du fait de la responsabilité historique des pays développés dans l'augmentation de la teneur en carbone de l'atmosphère.

Le protocole de Kyoto.

Dans le cadre du protocole de Kyoto, principalement les pays développés et les pays en transition s'engageaient à réduire, sur la période 2008-2012, leurs émissions annuelles de gaz à effet de serre (GES, Six gaz sont concernés et les objectifs sont spécifiés en équivalents d'émission de CO₂) de 5,2 % en moyenne par rapport au niveau atteint en 1990. Mais pour stabiliser la température de l'atmosphère, les scientifiques considèrent qu'il faudrait réduire les émissions de GES d'au moins 50 %. Ce protocole n'est entré en vigueur qu'en février 2005. Il prévoit donc le recours à un marché de droits d'émission de GES, où l'on déconnecte les allocations initiales (censées être équitables) et finales (modifiées par les échanges économiques). Il organise donc en quelque sorte une distribution gratuite aux gouvernements de permis d'émissions qui seront négociables sur un marché de permis. Les articles du protocole évoquant les échanges de droit sont les suivants:

- Articles 3.1 et 4. Les Pays peuvent définir une **bulle**, au sens où un groupe de pays s'engagent solidairement à respecter l'engagement quantitatif global, et se réservent donc le droit de répartir leurs engagements nationaux de façon différente. L'Union européenne a ainsi adopté une répartition intracommunautaire de l'effort...

- Article 3.13. Possibilité de mise en réserve des quotas d'émission non utilisés sur la période 2008-2012.

▪ Article 6. Des crédits d'émission peuvent être attachés à des projets de réduction d'émission de GES (ex, centrales solaires...) ou de plantations végétales contribuant à absorber le CO₂ (« puits de carbone »), sous certaines conditions. Les pays industrialisés et en transition peuvent échanger ces crédits, mais peuvent aussi, sous leur responsabilité, autoriser des personnes morales à participer aux actions relatives à l'obtention et au transfert des réductions d'émission obtenues par ces projets. Ce mécanisme est baptisé **mise en œuvre conjointe**.

▪ Article 12. **Le mécanisme de développement propre** autorise, sous certaines conditions, Les pays industrialisés et en transition à réaliser des réductions « additionnelles » d'émissions dans les pays en développement, plutôt que sur leur territoire national. Ces crédits pourront être acquis sur la période 2000-2007 et utilisés sur la période 2008-2012.

▪ Article 17. **Le commerce des quotas d'émission** entre les pays industrialisés et en transition est autorisé. Les trois dernières dispositions sont souvent regroupées sous le label mécanisme de flexibilité

Chapitre 8: Système de Management environnemental : ISO 14001

Présentation

La norme ISO 14001 définit une série d'exigences spécifiques à la mise en place d'un système de management environnemental au sein d'une organisation, quelle que soit sa taille et son domaine d'activité.

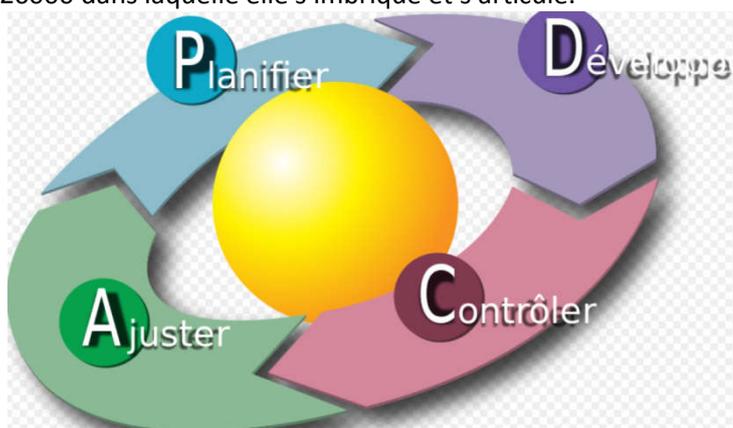
La norme ISO 14001 a été réalisée par l'Organisation internationale de normalisation et fait partie de la famille des normes ISO 14000 qui regroupe des normes complémentaires relatives au management environnemental. La norme ISO 14001 est aussi un élément de la triple certification Qualité-Sécurité-Environnement ISO 9001, ISO 14001 et OHSAS 18001 qui permet aux entreprises d'avoir une politique globale de management des risques. Ces trois normes reposent sur un modèle similaire qui facilite leur intégration. Elle est également une des normes sur lesquelles s'appuie l'ISO 26000 dans laquelle elle s'imbrique et s'articule.

La norme ISO 14001 est une norme internationale établie par l'Organisation internationale de normalisation, qui constitue la référence des organismes pour mettre en place un système de management environnemental. Elle a pour objectif d'aider les entreprises à gérer l'impact de leurs activités sur l'environnement et à démontrer l'efficacité de leur gestion¹. La norme ISO 14001 peut être certifiable par un organisme agréé.

Cette norme peut s'appliquer à n'importe quelle entreprise quelles que soient sa taille et son activité, mais peut aussi s'appliquer à tout autre type d'organisme (services publics, administrations...). Son application n'est pas obligatoire et dépend donc de la volonté de chaque organisme. En 2014, l'ISO dénombrait plus de 250 000 certifications suivant la norme ISO 14 001 dans plus de 160 pays².

Son principe repose sur le processus d'amélioration continue de la roue de Deming pour assurer à l'organisme de maîtriser les impacts environnementaux de son activité. Elle engage l'organisme dans une démarche de progrès continu de ses performances environnementales et lui permet de rester conforme à la réglementation environnementale.

La norme ISO 14001 fait partie de la famille des normes ISO 14000 qui regroupe des normes complémentaires relatives au management environnemental. La norme ISO 14001 est aussi un élément de la triple certification qualité-sécurité-environnement ISO 9001, ISO 14001 et OHSAS 18001 qui permet aux entreprises d'avoir une politique globale de management des risques. Ces trois normes reposent sur un modèle similaire qui facilite leur intégration. Elle est également une des normes sur lesquelles s'appuie l'ISO 26000 dans laquelle elle s'imbrique et s'articule.



Historique

À partir des années 1980, le renforcement de la législation environnementale et les pressions des parties prenantes amène les industries à s'équiper progressivement de systèmes de management environnementaux. En parallèle, un nombre croissant de normes et de référentiels apparaissent, aux champs d'applications différents, et entraînent des risques de contradiction et de surenchère coûteux pour les entreprises³.

Au cours des discussions préparatoires au Sommet de Rio de 1992 est débattu l'utilité et l'efficacité de normes de management environnemental³. Dans ses conclusions, l'association industrielle Business Council for Sustainable Development atteste de la nécessité de normes internationales consensuelles et volontaires pour améliorer la performance environnementale des entreprises. Finalement, l'Agenda 21 adopté au cours du Sommet encourage à « reconnaître le management environnemental comme l'une des priorités des entreprises » et à « adopter des codes de meilleures pratiques environnementales ».

À la suite du Sommet, les normes environnementales nationales et régionales prennent une place de plus en plus importante⁴. Au cours du cycle d'Uruguay relatif aux négociations internationales sur l'Accord général sur les tarifs douaniers et le commerce commencées en 1986 et conclues en 1994, les normes internationales de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) sont explicitement citées⁵.

En 1991, le Groupe consultatif stratégique de l'ISO sur l'environnement ou SAGE (Strategic Advisory Group on the Environment) est lancée par l'ISO et la CEI afin de mener une réflexion sur le rôle que peuvent jouer les normes internationales dans le management environnemental en prévision du Sommet de Rio⁵. Fin 1992, le SAGE dépose ses conclusions à l'ISO où il recommande la création d'un comité technique pour élaborer des normes environnementales dans plusieurs domaines. En janvier 1993, l'ISO s'appuie sur ces recommandations pour créer le comité technique ISO/TC 207 pour élaborer des normes dans les domaines recommandées par le SAGE.

La première version de la norme ISO 14001 est publiée en septembre 1996. La norme a ensuite fait l'objet d'une révision en décembre 2003 qui apporte quelques modifications mineures pour la rendre plus claire et plus compatible avec les normes qualité ISO 9000.

Avantage de la démarche

Bien qu'elle ne soit pas obligatoire, la norme rencontre un succès important auprès des entreprises. Une étude de l'Afnor auprès de 800 entreprises souligne quatre facteurs de motivation qui reviennent dans la majorité des cas : améliorer l'image de l'entreprise (77 %), se mettre en conformité avec la réglementation environnementale et anticiper les lois futures (65 %), améliorer la performance globale de l'entreprise (64 %), répondre aux exigences du Groupe en vue d'une reconnaissance interne (58 %)⁶.

Norme internationale de référence, l'ISO 14001 est un gage de sérieux facilement valorisable auprès des parties prenantes de l'entreprise en démontrant aux partenaires que la gestion des risques environnementaux est organisée et maîtrisée. Elle apporte un avantage concurrentiel dans la mesure où de plus en plus de clients exigent de leurs fournisseurs qu'ils maîtrisent leurs impacts environnementaux.

Enfin, l'ISO 14001 semble avoir un réel effet positif sur la performance environnementale de l'entreprise. Une étude de l'Insee démontre que la certification entraîne une réduction de plusieurs impacts environnementaux (eau, combustibles, CO₂, énergie).

- Diminuer les dépenses
- Anticiper et maîtriser les risques environnementaux en intégrant les problématiques environnementales dans le système de management global de l'entreprise
- Mobilisation des employés et cercle vertueux
- Source d'innovation
- Elle apporte un avantage concurrentiel en permettant à l'entreprise d'être mieux perçue par ses parties prenantes et de démarcher plus facilement des investisseurs
- La conformité réglementaire

Cet aspect intéresse particulièrement les responsables d'entreprises en raison des sanctions potentielles. La version de la norme ISO 14001:2004 oblige les organismes à satisfaire, en matière environnementale, à toutes les lois et règlements qui lui sont imposables. La norme oblige l'organisme à disposer d'une veille réglementaire. Ainsi, un organisme qui fait l'objet d'une mise en demeure de la part d'une administration concernée est susceptible de perdre sa certification si un calendrier de

régularisation de sa situation n'est pas présenté et suivi des effets attendus. Il appartient aux auditeurs à chaque audit de suivi annuel de vérifier ces points de la norme.

Méthodologie de Mise en Place

Pour accéder à la certification, il y a une démarche claire à suivre. Suivant la logique de la norme.

1. Domaine d'application

Avant toute chose, on devra déterminer quelles seront exactement les activités comprises dans le périmètre de certification, par exemple les activités de stockage des déchets, d'extraction et de traitement des matériaux extraits dans une carrière, mais aussi les activités qui y sont associées telles que l'entretien des engins, le traitement des effluents, la gestion du biogaz, les activités de bureau... D'autre part, il faudra déterminer précisément le périmètre « géographique » de la certification pour chacun des sites. Toute exclusion hors du périmètre de certification devra être justifiée. La direction devra définir précisément quels seront les périmètres de certification pour chaque site.

2. Analyse environnementale

Cette étape est un travail d'analyse des activités. On analysera les nuisances des activités de la société à plusieurs niveaux : l'eau, l'air, le sol, les déchets produits dans le cadre des différentes activités et enfin les nuisances (dont le bruit et les odeurs). De plus, l'analyse portera sur des conditions normales de fonctionnement et les situations d'urgence pouvant survenir. Il s'agit donc d'un état des lieux initial à l'issue duquel on connaîtra exactement l'influence de la société sur les milieux locaux (pour chaque site du périmètre de certification). Cette étape prend du temps. Il faut procéder à des analyses précises et obtenir un maximum de résultats quantitatifs dans tous les domaines nécessaires. Ces résultats devront être examinés par rapport à ce que les lois environnementales exigent. Les dossiers de demande d'autorisation seront utiles pour cette analyse, notamment les études d'impacts et études de dangers. Toutefois, il ne faut pas confondre les différents types de documents. Si l'étude d'impact est un document réglementaire présenté au public et aux autorités, l'analyse environnementale est un document interne qui s'efforce d'évaluer au mieux les impacts réels ou potentiels des activités dans un sens très large. Par exemple, les consommations d'énergie ne sont pas abordées dans les études d'impact alors qu'il faudra les détailler et les quantifier dans l'analyse environnementale. L'analyse environnementale sera moins "bridée" que l'étude d'impact, car elle n'est destinée qu'à usage interne. De plus, une attention particulière sera portée à l'historique des sites afin de déterminer les impacts induits par des activités antérieures, qu'elles aient été réalisées ou non par la société. Chaque site fera l'objet d'une analyse environnementale propre, élaborée selon une méthode commune. Cette étape est cruciale, elle est le cœur du système de management puisqu'elle va lister et hiérarchiser les impacts potentiels sur l'environnement. Elle servira ensuite de « base de données » alimentant les actions à mettre en place dans le cadre du SME. Cette analyse peut être effectuée par ATE Dev, en utilisant une méthode qui lui est propre ainsi que les données qui lui seront communiquées par l'organisme.

3. Politique environnementale

Cette étape devrait, selon la logique de la norme, être réalisée en premier. Cependant, nous estimons qu'il est plus approprié de fixer les priorités sur lesquelles la direction veut porter ses efforts après avoir évalué l'ensemble des impacts réels ou potentiels des activités sur l'environnement. Ainsi, la direction pourra s'engager et donner les principes généraux qu'elle voudra fixer à l'avenir en s'appuyant sur l'analyse environnementale. Cette politique reflètera l'engagement de la direction pour la protection de l'environnement. Elle devra être disponible pour le publique, communiquée aux personnes travaillant pour l'organisme, voire aux différents partenaires, qu'ils soient institutionnels ou non.

La politique devra être signée par le niveau hiérarchique le plus haut de la société. Elle devra comporter :

- le principe d'amélioration continue, c'est-à-dire se fixer à chaque nouvel examen de nouveaux objectifs plus ambitieux ;
- un engagement de prévention de la pollution ;

- la conformité aux lois et à d'autres règlements (engagements pris avec des partenaires non institutionnels, etc.) ;
- des buts généraux en matière environnementale. Ils serviront de référence pour évaluer toutes les actions ultérieures. Cette politique peut être rédigée par ATE Dev avec la participation et en accord avec la direction de l'organisme

4. Définition des objectifs, programme environnemental

L'analyse environnementale aura identifié l'ensemble des impacts réels ou potentiels des activités de la société sur l'environnement. Elle servira de base sur laquelle on se fondera pour définir des objectifs concrets selon des cibles précises pour diminuer les nuisances à l'environnement.

Par exemple :

Objectif	Cibles
Améliorer la qualité des eaux	Réduire la DCO de x % Réduire la DBO de x %
Préserver les ressources naturelles	Réduire la consommation de fuel de x %

Ces objectifs et cibles devront être assortis d'un calendrier précisant les délais à respecter pour les atteindre et de critères internes pour le suivi des actions menées. Dans cette étape, la conformité aux lois jouera un rôle primordial. La plupart des objectifs seront établis sur cette base, étant donné que les lois environnementales fixent déjà des valeurs limites dans la majeure partie des domaines. Un programme commun comportant des objectifs et des cibles particulières à chaque site pourra être mis en œuvre. Toutefois, pour plus de lisibilité, un programme différent pourra être élaboré pour chaque site. Ce choix devra être fait par la direction.

NOTE : L'entreprise peut être certifiée même si, dans un premier temps, elle n'est pas conforme aux exigences légales. Mais elle doit alors :

- décrire la non-conformité,
- donner un délai pour y remédier,
- donner une solution à brève échéance. Exemple : prévoir une consigne pour gérer tout incident lors d'un dépotage, prévoir des matériaux absorbants,...Le programme comprendra la liste des objectifs, le calendrier de réalisation, l'organisation des humaines et financières ainsi que la définition des responsabilités (qui fait quoi ? comment ? avec quel délai ?). Le programme peut être élaboré par ATE DEV, en collaboration avec la direction et le futur responsable du SME.

5. Mise en œuvre et fonctionnement, contrôles

Il s'agira d'analyser les activités associées aux impacts environnementaux de l'entreprise détectés au cours des analyses environnementales et de s'assurer qu'ils sont menés de façon à ce que les impacts réels ou potentiels qu'ils induisent soient maîtrisés. Par exemple :

Activité	Impact potentiel sur l'environnement	Moyens de maîtrise
Alimentation en carburant	Pollution du sol et des eaux souterraines	Dispositif : rétention mobile mise en place à chaque opération, matériaux absorbants Aménagement : aire de dépotage étanche reliée à un déshuileur Pratique : le personnel reste à proximité de la vanne d'arrêt d'alimentation

La maîtrise d'un impact potentiel peut comporter un ou plusieurs éléments tels que des dispositifs, des aménagements ou des pratiques. Pour chacun des impacts potentiels, il faudra connaître les exigences légales (équipements, formations, valeurs-limites,...) afin de s'y conformer à l'avenir (cf.. définition des objectifs). Tout un ensemble de contrôles opérationnels devront être effectués afin de garantir la

pérennité de la maîtrise. Par exemple : contrôle régulier de l'étanchéité des rétentions, étalonnage des instruments de contrôle à la station d'épuration,... Durant cette étape, les ressources humaines, physiques et financières devront être réunies pour mener à bien l'organisation du management environnemental. Ceci comprend la définition des responsabilités (structure et responsabilité), la formation des collaborateurs (formation, sensibilisation et compétences), la gestion de la documentation (maîtrise de la documentation et documentation du système de management environnemental), la communication (communication) et la capacité de gérer les accidents (préparation et réponse aux situations d'urgence). Il est important que tout soit décrit et que chacun des collaborateurs à quel que niveau que ce soit ait la possibilité de s'exprimer par écrit sur ce qu'il fait ou ce qu'il a remarqué dans n'importe quel domaine. Toutefois, des communications orales peuvent aussi être prises en compte dans le cadre d'activités exercées par des entreprises de petite taille. Cette étape donnera lieu à l'essentiel de la documentation. La gestion de la documentation impliquera la maîtrise de son élaboration, sa diffusion, sa mise à jour, son classement, sa disponibilité et son archivage.

Certains documents peuvent être communs à plusieurs sites (manuel décrivant le fonctionnement du SME, procédures générales détaillant sa mise en œuvre). D'autres seront spécifiques à chaque site ou activité (consignes d'exploitation, de dépotage, de contrôle,...). Une évaluation régulière de la conformité aux exigences légales devra être réalisée. Les non-conformités devront être détectées. Une procédure décrira comment les actions correctives seront menées. Les résultats des contrôles pourront être communiqués au personnel.

L'ensemble de la documentation peut être rédigée par ATE Dev, en collaboration avec le futur responsable du SME, et après validation par la direction.

6. Audits internes

Un système de management environnemental évolue constamment et l'on doit suivre cette évolution. Il devra donc être mesuré, et amélioré périodiquement, et cela pour quatre motifs principaux:

- tout système structuré a tendance à se détériorer ;
- l'état d'une entreprise change continuellement et le SME doit prendre en compte ces changements ;
- par un phénomène d'inertie, si le SME n'est pas suivi, il perd vite de son efficacité ;
- l'excès de confiance de certains membres de la société peut amener à passer outre les règles définies et à commettre des erreurs.

Pour cela, un contrôle spécifique est requis. Il s'agira d'un audit interne dont les principales fonctions seront d'apprécier l'efficacité du SME, d'en découvrir les éventuels points faibles et de les corriger. Ces audits devront être planifiés. Ils pourront être menés par un prestataire extérieur (ATE Dev peut réaliser ces audits, même si il a assisté la mise en place du SME, les personnes chargées de cette mise en place d'une part et de l'audit d'autre part étant distinctes) mais aussi par un membre du personnel de l'entreprise qui aura été formé et qui fera preuve d'objectivité par rapport aux activités auditées (qui ne sera pas impliqué dans les activités auditées). Un calendrier unique d'audits internes sera rédigé. Les modalités des audits internes seront définies par la direction.

7. Revues de direction

L'évolution de la protection de l'environnement, des méthodologies ou technologies, des produits ainsi que l'exploitation des ressources évoluent constamment et nécessitent de redéfinir les objectifs. C'est le principe d'amélioration continue schématisé ci-dessus. Tenant compte du résultat de l'audit interne et de tout le cheminement dans son ensemble (dont la mise en place de nouveaux dispositifs et les contrôles réguliers), la direction évaluera le système de management environnemental. Elle décidera de lignes directrices importantes, comme par exemple de changer de méthodologie ou de technologie pour telle activité dans des délais précis. Elle déterminera également les mesures qui permettront de remédier aux non-conformités. Ensuite, elle mettra à jour son analyse environnementale (qui, rappelons le, est la première étape du processus de mise en place du SME). Ce qui bouclera le processus d'amélioration continue. Nous pouvons assister la direction lors des revues de direction, notamment en lui communiquant un document listant les sujets à aborder.

SCHÉMA D'UN SME (PROCESSUS D'AMÉLIORATION CONTINUE)

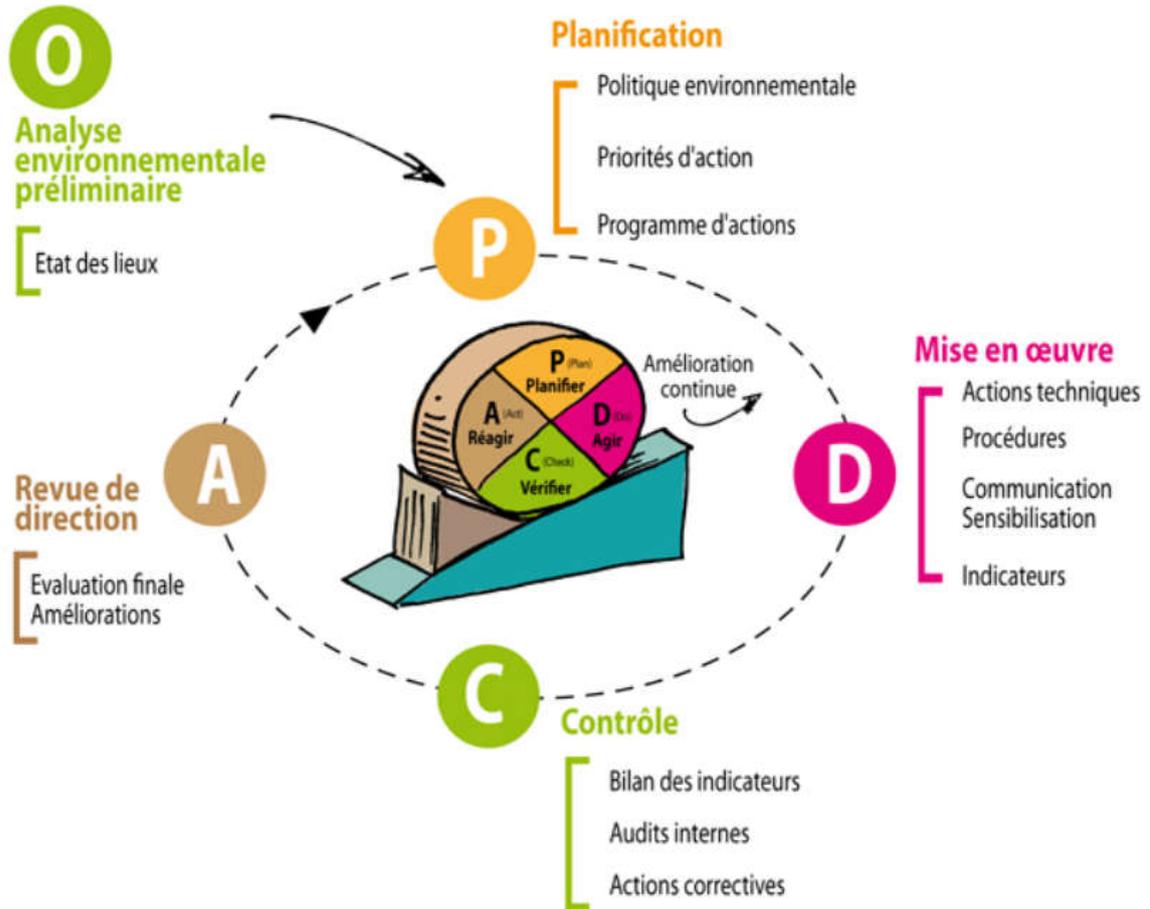
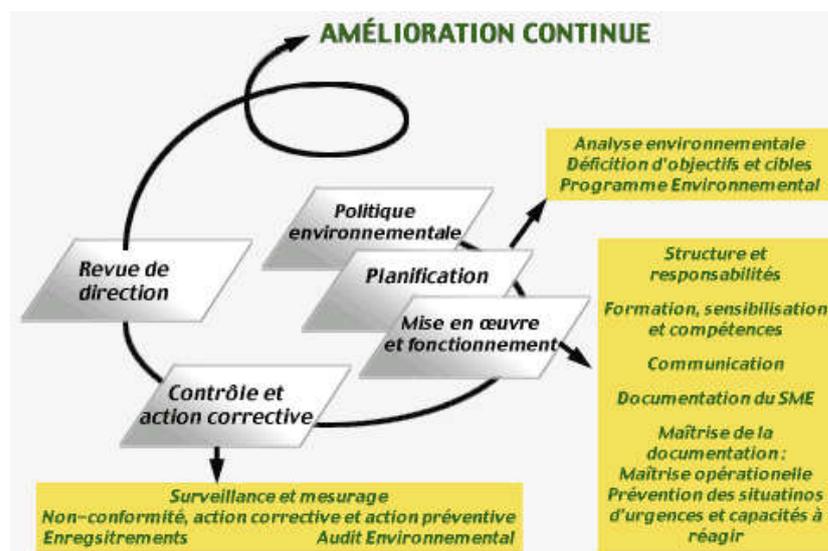


Schéma 19 : d'un système de management environnemental
(Source : <http://les.cahiers-developpement-durable.be/outils/systemes-de-management-environnemental/>)



Chapitre 9 : Droit de l'environnement

Introduction

Le Maroc s'est engagé dans un processus de réformes accélérées touchant de nombreux secteurs. Le domaine de l'environnement n'échappe pas à cette dynamique de réforme. La protection de l'environnement est de venue une préoccupation majeure, a trouvé une traduction juridique importante durant ces dernières années. Mais incontestablement, l'inscription de la défense de l'environnement dans le texte de la nouvelle constitution du 29 juillet 2011 (B.O, 2011) est le révélateur d'une accélération d'une prise de conscience d'ordre environnemental.

En dépit des critiques et des doutes quand à l'effectivité du droit à l'environnement, sa reconnaissance par la constitution a le mérite d'être soulignée dans la mesure où elle constitue la preuve de l'importance de la protection de l'environnement pour l'ensemble de la société marocaine. Le droit à l'environnement conçu comme un principe directeur, a vocation à être développé, à prendre consistance dans le monde juridique, et partant être invoqué par les justiciables et défendu devant le juge.

Le droit à l'environnement contribue aussi à rendre effectifs certains droits de l'homme classiques tels que le droit à la santé, la famille ou même à la liberté d'expression comme l'a bien exprimé le juge Weeremantry dans son opinion devant la CIJ (Prieur,M. 2009) : « la protection de l'environnement constitue ...une partie essentielle de la doctrine contemporaine des droits de l'homme car elle est une condition sine qua non du respect de nombreux droits de l'homme tels que le droit à la santé et le droit à la vie elle-même » (CIJ, 1997). Ces droits fondamentaux coïncident avec les intérêts écologiques et permettent de découvrir un contenu écologique à ces droits (Belaid.N. 2008). Particulièrement le droit à l'environnement peut réellement étendre sa protection à des domaines non expressément protégés.

Le droit à l'environnement peut ainsi être un nouvel outil pour répondre aux dommages environnementaux, ne laissant plus la seule responsabilité civile occuper tout le terrain. Désormais, en présence d'un dommage environnemental, la victime sera susceptible d'opposer à l'auteur du dommage non seulement les règles de la responsabilité civile, mais également son droit à l'environnement. Les deux mécanismes se rencontrent donc, ils sont susceptibles d'être invoqués concurremment dans le cadre d'un litige environnemental opposant deux personnes privées. Ce sont ces rapports entre responsabilité civile d'une part et droit à l'environnement d'autre part auxquels il convient de s'intéresser.

Loi relative à la protection et à la mise en valeur de l'environnement

Loi n°11-03 promulguée par le dahir n°1-03-59 du 12 mai 2003

Chapitre 1 - Dispositions générales

Section 1 - Objectifs et principes généraux

Art.1.- La présente loi a pour objet d'édicter les règles de base et les principes généraux de la politique nationale dans le domaine de la protection et de la mise en valeur de l'environnement. Ces règles et principes visent à :

- protéger l'environnement contre toutes formes de pollution et de dégradation quelle qu'en soit l'origine ;
- améliorer le cadre et les conditions de vie de l'homme ;
- définir les orientations de base du cadre législatif, technique et financier concernant la protection et la gestion de l'environnement ;
- mettre en place un régime spécifique de responsabilité garantissant la réparation des dommages causés à l'environnement et l'indemnisation des victimes.

Art.2.- L'application des dispositions de la présente loi se base sur les principes généraux suivants : La protection, la mise en valeur et la bonne gestion de l'environnement font partie de la politique intégrée du développement économique, social et culturel ; La protection et la mise en valeur de l'environnement constituent une utilité publique et une responsabilité collective nécessitant la participation, l'information et la détermination des responsabilités ; L'instauration d'un équilibre nécessaire entre les exigences du développement national et celles de la protection de l'environnement lors de l'élaboration des plans sectoriels de développement et l'intégration du concept du développement durable lors de l'élaboration et de l'exécution de ces plans ; La prise en considération de la protection de l'environnement et de l'équilibre écologique lors de l'élaboration et de l'exécution des plans d'aménagement du territoire ; La mise en application effective des principes de " l'usager payeur " et " du pollueur payeur " en ce qui concerne la réalisation et la gestion des projets économiques et sociaux et la prestation de services ; Le respect des pactes internationaux en matière d'environnement lors l'élaboration aussi bien des plans et programmes de développement que de la législation environnementale.

Section 2 - Définitions

Art.3.- : Au sens de la présente loi on entend par :

- 1) Environnement: l'ensemble des éléments naturels et des établissements humains ainsi que les facteurs économiques, sociaux et culturels favorisant l'existence et le développement des organismes vivants et des activités humaines.
- 2) Protection de l'environnement : la préservation et l'amélioration des constituants de l'environnement, la prévention de leur dégradation, de leur pollution ou la réduction de cette pollution.
- 3) Développement durable : un processus de développement qui s'efforce de satisfaire les besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs besoins.
- 4) Equilibre écologique : les rapports d'interdépendance entre les éléments constituant l'environnement permettant l'existence, l'évolution et le développement de l'homme et des autres êtres vivants.
- 5) Etablissements humains : l'ensemble des agglomérations urbaines et rurales, quelles que soient leur type et leur taille, ainsi que l'ensemble des infrastructures dont elles disposent pour assurer à leurs habitants une existence saine et décente.
- 6) Patrimoine historique et culturel : l'ensemble des biens meubles ou immeubles qui présentent un caractère particulier sur le plan de l'archéologie, de l'histoire, de l'architecture, de la littérature, du folklore, de l'art, des religions et de la sociologie.
- 7) Aires spécialement protégées : espaces terrestres ou maritimes ayant une valeur naturelle ou culturelle particulière à l'intérieur desquels des mesures impératives de protection et de gestion de l'environnement doivent être prises.
- 8) Biodiversité : toutes espèces vivantes animales et végétales vivant dans les différents écosystèmes terrestres, marins et aquatiques.

9) Eaux continentales : toutes les eaux, qu'elles soient superficielles ou souterraines, à l'exclusion des eaux de mer et des eaux salées souterraines.

Les eaux de surface sont composées des rivières et fleuves, des lacs naturels et des retenues de barrages, des étangs, des marécages, des canaux, des ruisseaux, des canaux d'eau potable et de toute autre forme de rassemblement des eaux dans les cuvettes terrestres.

Les eaux souterraines sont composées des nappes phréatiques, des sources, des khattaras et écoulements souterrains.

10) Air : l'enveloppe gazeuse qui entoure la terre et dont la modification des caractéristiques physiques ou chimiques peut porter atteinte aux êtres vivants, aux écosystèmes et à l'environnement en général.

Cette définition comprend également l'air des lieux de travail et des lieux publics clos ou semi-clos.

11) Lieu public : espace destiné au public ou à une catégorie de personnes pour un objectif déterminé.

12) Lieu public clos : espace public ayant la forme d'une construction intégrale et dont l'air n'accède qu'à travers des issues destinées à cet effet. Les moyens de transport public sont considérés en tant qu'espace public clos.

13) Parcs et réserves naturelles : tout espace du territoire national classé, y compris le domaine public maritime, lorsque l'équilibre écologique exige la préservation de ses animaux, végétaux, sols, sous sols, air, eaux, fossiles, ressources minérales et, d'une façon générale, son milieu naturel. Ces parcs et réserves naturelles revêtent un intérêt particulier qui nécessite la protection de ce milieu contre toute activité humaine susceptible de menacer sa forme, sa constitution ou son développement.

14) Ressources marines : les eaux marines et les eaux douces souterraines se trouvant dans le littoral et toutes les ressources biologiques et non biologiques contenues dans les espaces marins sous souveraineté ou juridiction nationale telle que définie par la loi.

15) Standards : références permettant d'uniformiser les méthodes et les modalités des analyses et d'évaluer les différentes constantes scientifiques et techniques.

16) Norme : valeur limite obligatoire à ne pas dépasser.

17) Pollution de l'environnement : tout impact ou modification direct ou indirect de l'environnement provoqué par un acte ou une activité humaine ou par un facteur naturel susceptible de porter atteinte à la santé, à la salubrité publique, à la sécurité ou au bien-être des personnes ou de constituer un danger pour le milieu naturel, les biens, les valeurs et les usages licites de l'environnement.

18) Pollution marine : tout déversement ou introduction en mer, directement ou indirectement, d'un produit susceptible d'endommager les êtres vivants et les végétaux marins, de constituer un danger pour la santé humaine, d'entraver les activités marines comme la pêche et les autres usages licites de la mer ou de porter atteinte à la nature et à la qualité de l'eau de mer.

19) Intérêts connexes : tout intérêt doté d'une valeur patrimoniale susceptible d'être affecté directement ou indirectement, temporairement ou définitivement, par une pollution.

20) Effluents : rejets liquides usés ou tout autre liquide d'origine notamment domestique, agricole, hospitalière, commerciale et industrielle, traités ou non traités et rejetés directement ou indirectement dans le milieu aquatique.

21) Eaux usées : eaux utilisées à des fins ménagères, agricoles, commerciales, industrielles ou artisanales dont la nature et les composantes sont modifiées qui sont susceptibles de créer une pollution due à leur usage sans traitement.

22) Installations classées : toute installation dont la dénomination est mentionnée dans les textes réglementant les établissements insalubres, incommodes ou dangereux, exploitée ou appartenant à une personne morale ou physique, publique ou privée, susceptible de constituer un danger ou une nuisance pour le voisinage, la santé, la sûreté, la salubrité publique, l'agriculture, la pêche maritime, les sites, les monuments ou tout élément de l'environnement.

23) Déchets : tous résidus résultant d'un processus d'extraction, exploitation, transformation, production, consommation, utilisation, contrôle ou filtration, et d'une manière générale, tous objet et matière abandonnés ou que le détenteur doit éliminer pour ne pas porter atteinte à la santé, à la salubrité publique et à l'environnement.

24) Déchets dangereux : toutes formes de déchets qui, par leur nature dangereuse, toxique, réactive, explosive, inflammable, biologique ou bactérienne, sont susceptibles de constituer un danger pour l'équilibre écologique tel que fixé par les normes internationales dans ce domaine ou contenu dans des annexes complémentaires qui seront fixées par voie réglementaire.

25) Produits et facteurs polluants : tout produit solide, liquide ou gazeux, bruit, radiations, chaleur ou vibrations sonores résultant des activités humaines et susceptibles, directement ou indirectement, de polluer l'environnement ou de favoriser sa dégradation.

26) Pollueur : toute personne physique ou morale causant ou participant à un état de pollution.

27) Espaces maritimes : ressources naturelles maritimes biologiques et minérales du fond de la mer, des eaux avoisinantes ou en dessous du sol marin.

Chapitre 2 - De la protection de l'environnement et des établissements humains

Section 1 - Les établissements humains

Art.4.- : La planification et l'aménagement des établissements humains entrent dans le cadre des plans et documents d'aménagement du territoire et d'urbanisme assurant une organisation harmonieuse des terrains dans le respect des conditions d'existence et de bien-être de leurs habitants.

Art.5.- : Les documents d'urbanisme tiennent compte des exigences de protection de l'environnement, notamment le respect des sites naturels et des spécificités culturelles et architecturales lors de la détermination des zones d'activités économiques, d'habitation et de divertissement.

Art.6.- : Le permis de construire et l'autorisation de lotir sont délivrés conformément à la législation en vigueur au regard de l'impact éventuel sur l'environnement. Ils peuvent être refusés ou soumis à des prescriptions spéciales si les constructions ou les lotissements sont de nature à :

- engendrer des conséquences dommageables pour l'environnement, la sécurité, le bien-être et la santé des habitants ;
- constituer un risque pour le voisinage et les monuments.

Art.7.- Les administrations concernées prennent toutes les mesures nécessaires pour la protection des établissements humains des effets préjudiciables résultant de toute forme de pollution et de nuisance, notamment les déchets solides, les rejets liquides ou gazeux ainsi que les bruits et vibrations non conformes aux normes et standards de qualité de l'environnement qui sont fixés par voie législative ou réglementaire. Elles prennent également toutes les mesures nécessaires pour la protection des établissements humains des catastrophes naturelles et technologiques.

Section 2 - Le patrimoine historique et culturel

Art.8.- La protection, la conservation et la valorisation du patrimoine historique et culturel présentent un intérêt national. Elles font partie de la politique nationale de la protection et de la mise en valeur de l'environnement. Les dispositions législatives et réglementaires fixent les différentes mesures à prendre pour la protection et la préservation des éléments du patrimoine historique et culturel contre toute forme de dégradation.

Section 3 - Les installations classées

Art.9.- : Les installations classées sont soumises à une autorisation ou à une déclaration selon la nomenclature et la procédure fixées par des textes d'application.

Art.10.- : La demande du permis de construire afférente à une installation classée n'est recevable par l'administration que lorsqu'elle est accompagnée par l'autorisation, le récépissé de déclaration ou d'une étude d'impact sur l'environnement, tel que prévu par les articles 49 et 50 de la présente loi.

Art.11.- Toute personne qui détient ou exploite une installation classée est tenu de prendre les mesures nécessaires pour prévenir et lutter contre la pollution de l'environnement et la dégradation du milieu naturel, conformément à la législation, à la réglementation et aux normes et standards environnementaux en vigueur. En outre, elle est tenue de se soumettre à toute inspection ou contrôle éventuel effectué par les autorités compétentes.

Art.12.-

Toute installation classée ou non classée doit respecter les normes et standards de qualité de l'environnement visés à l'article 54 de la présente loi. Quant aux installations nouvelles, elles doivent intégrer dans les cahiers des charges les normes et standards en vigueur lors de la demande du permis de construire. Pour les installations existantes, les dates d'application et de respect de ces normes et standards sont fixées par voie réglementaire.

Art.13.- : En cas de risque majeur et certain pour la santé de l'homme ou pour l'environnement en général dûment constaté, l'administration compétente peut, après mise en demeure de l'exploitant, conformément aux lois en vigueur, décider de suspendre totalement ou partiellement les activités de l'installation classée responsable du risque et ce, jusqu'au prononcé d'une décision par le juge des référés du tribunal compétent. Toutefois, lorsqu'il s'agit d'une situation de risque imminent imposant des mesures d'urgence, ladite suspension partielle ou totale peut être prononcée par l'administration sans la mise en demeure de l'exploitant. Le tribunal compétent saisi peut prononcer l'interdiction d'utilisation de l'installation classée en état d'infraction et ce, jusqu'à l'achèvement des travaux et aménagements nécessaires. Il peut, en outre, ordonner que ces derniers

soient exécutés en collaboration avec l'administration aux frais du propriétaire ou de l'exploitant de l'installation.

Art.14.- : L'administration peut imposer à l'exploitant d'une installation classée, dans les conditions fixées par voie réglementaire, d'installer des équipements de mesure de la pollution et de lui transmettre périodiquement les relevés effectués sur la nature et la quantité des rejets liquides, solides et gazeux.

Art.15.- Des aires pour la protection de la santé de l'homme, des sites naturels et des monuments peuvent être instituées autour des zones d'activités économiques ; elles sont fixées selon la nature des activités des installations classées et les risques et menaces pouvant résulter de ces installations pour la santé de l'homme et l'environnement en général.

Art.16.- : Les dispositions législatives et réglementaires en vigueur portant réglementation et dénomination des établissements insalubres, incommodes ou dangereux sont révisées conformément aux dispositions de la présente loi.

Chapitre 3 - De la protection de la nature et des ressources naturelles

Section 1 - Le sol et le sous-sol

Art.17.- Le sol, le sous-sol et les richesses qu'ils contiennent en ressources limitées ou non renouvelables sont protégés contre toute forme de dégradation et doivent être exploités de manière rationnelle.

Art.18.- Des mesures particulières de protection sont édictées afin de lutter contre la désertification, les inondations, la disparition des forêts, l'érosion, les pertes de terres arables et la pollution du sol et de ses ressources, dus notamment à l'utilisation des produits et pesticides chimiques. Les dites mesures peuvent être déclarées d'utilité publique et s'imposer à tout exploitant ou bénéficiaire.

Art.19.- L'affectation et l'aménagement du sol à des fins agricoles, industrielles, minières, touristiques, commerciales, urbaines, ainsi que les travaux de recherche archéologique ou d'exploitation des ressources du sous-sol susceptibles de porter atteinte à l'environnement, sont soumis à autorisation préalable suivant les cas et conformément aux conditions fixées par les textes législatifs et réglementaires. Ces textes fixent les autorités habilitées à octroyer ces autorisations et les conditions de cet octroi ainsi que la nomenclature des activités ou usages qui sont interdits en raison des dangers qu'ils présentent pour le sol, le sous-sol ou pour leurs ressources.

Section 2 - La faune, la flore et la biodiversité

Art.20.- La faune, la flore et la biodiversité doivent être protégées au moyen d'une gestion rationnelle en vue de préserver toutes les espèces et de garantir l'équilibre écologique.

Art.21.- : Est interdite ou soumise à autorisation préalable de l'administration, conformément aux dispositions législatives et réglementaires, toute activité susceptible de porter atteinte aux espèces animales et végétales ou à leurs milieux naturels.

Art.22.- Les dispositions législatives et réglementaires fixent notamment :

- la liste des espèces animales et végétales qui doivent bénéficier d'une protection particulière ;
- les interdictions permanentes ou temporaires de toute activité susceptible d'empêcher la protection des espèces rares, menacées ou en voie d'extinction ainsi que leur milieu naturel;
- les conditions d'exploitation, de commercialisation, d'utilisation, de transport et d'exportation des espèces visées au paragraphe précédent ;
- les conditions d'introduction, quelle qu'en soit l'origine, de toute espèce animale et végétale pouvant porter atteinte aux espèces protégées ou à leurs milieux naturels.

Art.23.- Les forêts, qu'elles soient publiques ou privées, sont un bien d'utilité collective. Il est du devoir de l'administration et des particuliers de les conserver et de les exploiter d'une manière qui garantit leur équilibre et le respect des écosystèmes.

Art.24.- Les forêts doivent être exploitées de façon rationnelle et équilibrée. Les plans de gestion et les travaux d'aménagement et d'exploitation intègrent les préoccupations d'environnement pour que leurs utilisations économiques, sociales, culturelles ou récréatives ne portent pas atteinte à l'environnement.

Art.25.- Les forêts doivent être protégées contre toute forme de dégradation, de pollution ou de destruction causées par la surexploitation, le surpâturage, les incendies, les maladies ou l'introduction d'espèces inadaptées.

Art.26.- Il est interdit de procéder à des déboisements, sauf autorisation préalable accordée par l'administration, dans les conditions prévues par les dispositions législatives et réglementaires relatives au domaine forestier.

Section 3 - Les eaux continentales

Art.27.-: L'administration prend les mesures nécessaires afin d'assurer l'inventaire régulier et périodique et la gestion rationnelle des eaux continentales, ainsi que la prévention et la lutte contre toute forme de pollution conformément à la législation et à la réglementation en vigueur.

Art.28.-: Sous réserve des dispositions législatives et réglementaires en vigueur l'administration prend les dispositions nécessaires pour soumettre toute exploitation des eaux continentales à une autorisation préalable. Des mesures plus contraignantes peuvent être prises en cas de pénurie d'eau ou de lutte contre les effets de la sécheresse.

Art.29.-: Sous réserve des dispositions législatives et réglementaires relatives à l'eau, est fixée par voie réglementaire une liste des substances dangereuses dont le rejet, le déversement, l'immersion ou l'introduction de manière directe ou indirecte dans les eaux continentales sont soit interdits soit soumis à autorisation préalable délivrée par l'administration.

L'administration peut également créer des périmètres de protection à l'intérieur des quels sont interdites toutes les activités susceptibles d'altérer la qualité des eaux destinées à l'usage public.

Section 4 - L'air

Art.30.-: L'air doit être protégé des diverses formes de pollution qui contribuent à la dégradation de sa qualité, au réchauffement climatique et à l'appauvrissement de la couche d'ozone.

Art.31.-: L'émission dans l'air de toute substance polluante en particulier les fumées, poussières ou gaz toxiques, corrosifs ou radioactifs est interdite au-delà des limites prévues par les dispositions législatives et réglementaires.

Art.32.-: Les dispositions législatives et réglementaires déterminent les mesures à entreprendre en vue de préserver la qualité de l'air ainsi que les normes de contrôle et de suivi nécessaires.

Section 5 - Les espaces et les ressources marins, y compris le littoral

Art.33.-: En vue de la protection des espaces et des ressources marins sous souveraineté ou juridiction nationale, des dispositions législatives et réglementaires sont prises pour prévenir et mettre fin aux activités susceptibles d'altérer la qualité des eaux et des ressources marines, de porter atteinte à la santé de l'homme ou de nuire à la faune, à la flore, aux intérêts connexes et à l'environnement marin et côtier en général.

Art.34.-: Les dispositions législatives et réglementaires fixent :

- les conditions d'exploration, d'exploitation et de mise en valeur des ressources marines ;
- les mesures nécessaires pour la prévention et la lutte contre la pollution marine, y compris celle résultant des accidents maritimes imprévisibles ;
- les critères nécessaires au classement des aires spécialement protégées.

Art.35.-: Pour la protection, la mise en valeur et la conservation du littoral, des dispositions législatives et réglementaires sont prises pour assurer la gestion intégrée et durable de l'écosystème du littoral et la prévention de toute dégradation de ses ressources.

Art.36.-: Les dispositions législatives et réglementaires fixent les mécanismes et les moyens de protection des espaces et ressources marins, notamment :

- les modalités d'élaboration des schémas et des plans d'aménagement et d'exploitation du littoral ;
- les critères nécessaires au classement d'une partie du littoral en aires spécialement protégées telles que définies par l'article 38 de la présente loi ; les conditions d'exploitation, de mise en valeur et de développement des ressources du littoral.

Section 6 - Les campagnes et les zones montagneuses

Art.37.-: En vue de la protection du monde rural, la conservation et la mise en valeur des écosystèmes dans les campagnes et les zones montagneuses, des dispositions législatives et réglementaires sont prises aux fins d'assurer une gestion intégrée et durable des écosystèmes et de les protéger contre toute dégradation de leurs ressources et de la qualité de l'environnement en général.

Les dispositions législatives et réglementaires fixent notamment :

- les modalités d'élaboration des schémas et plans d'aménagement et de gestion intégrée des campagnes et des zones montagneuses ;
- les critères nécessaires au classement des campagnes et des zones montagneuses en aires spécialement protégées telles que définies par l'article 38 de la présente loi ;
- les conditions d'exploitation, de protection et de mise en valeur des ressources des campagnes et des zones montagneuses.

Section 7 - Les aires spécialement protégées, les parcs, les réserves naturelles et les forêts protégées

Art.38.-: Peuvent être érigées en aires spécialement protégées, par voie réglementaire, après consultation des collectivités locales et organismes concernés et après en quête publique, des zones terrestres et marines du territoire national dont l'environnement humain ou naturel présente un intérêt particulier qu'il y a lieu de conserver. Ces aires sont protégées et préservées de toute intervention ou activité susceptible de les modifier ou de les dégrader.

Lorsque l'importance de la zone protégée l'exige, l'autorité compétente peut la transformer en parc ou réserve naturelle conformément à la procédure prévue par les textes législatifs et réglementaires en vigueur.

Art.39.-: Lorsque la décision de classer une aire spécialement protégée, un parc ou une réserve naturelle entraîne un préjudice matériel direct et certain, par la limitation des activités antérieures dans la zone concernée, la décision ouvre droit à indemnité au profit du ou des propriétaires ou à leurs ayants droit dans les conditions fixées par les lois et règlements en vigueur.

Art.40.-: Lorsque la conservation de l'équilibre écologique l'exige, toute zone forestière, de quelque propriétaire que ce soit, peut être érigée en forêt protégée où sera interdite toute activité ou exploitation du sol susceptible d'altérer la qualité des arbres. La décision d'ériger en forêt protégée ouvre droit à indemnité dans les mêmes conditions que celles prévues à l'article 39 ci-dessus.

Chapitre 4 - Des pollutions et nuisances

Section 1 - Les déchets

Art.41.- : L'administration et les collectivités locales et leurs groupements prennent toutes mesures nécessaires afin de réduire le danger des déchets, de les gérer, de les traiter et de les éliminer de manière adéquate susceptible d'éviter ou de réduire leurs effets nocifs pour la santé de l'homme, les ressources naturelles, la faune, la flore et la qualité de l'environnement en général.

Art.42.- : En application de l'article 41 ci-dessus, des dispositions législatives et réglementaires fixent les conditions et les opérations de gestion et d'élimination des déchets, notamment celles de collecte, de tri, de stockage, de transport, d'importation, d'exportation, de mise en décharge contrôlée, d'exploitation, de réutilisation, de recyclage ou de tout autre moyen de traitement, de gestion ou d'élimination définitive des déchets.

Section 2 - Rejets liquides et gazeux

Art.43.- : Est interdit tout rejet liquide ou gazeux d'origine quelconque dans le milieu naturel, susceptible de nuire à la santé de l'homme ou à la qualité de l'environnement en général et qui dépasse les normes et standards en vigueur.

Art.44.- : Les dispositions législatives et réglementaires fixent notamment :

- la liste des substances liquides et gazeuses dont le rejet est interdit, leur composition et le degré de leur concentration ainsi que les substances en circulation donnant lieu à autorisation ou à déclaration préalable ;
- les conditions dans lesquelles doivent s'effectuer les opérations de collecte, de stockage, de traitement, de recyclage, de réutilisation et d'élimination définitive des rejets ;
- les caractéristiques chimiques et microbiologiques des rejets liquides et gazeux

Section 3 - Les substances nocives et dangereuses

Art.45.- : Est interdite la circulation sans autorisation de l'administration de toutes les substances nocives et dangereuses. Leur utilisation est soumise au contrôle et au suivi de l'administration du fait de leur toxicité, de leur radioactivité ou de leur concentration présentant une menace pour les écosystèmes biologiques lorsqu'elles sont rejetées dans le milieu naturel.

Art.46.- : Des dispositions législatives et réglementaires fixent notamment :

- la liste des substances nocives et dangereuses dont le rejet dans le milieu naturel est interdit ou soumis à autorisation préalable ou à déclaration de l'administration ;
- la liste des substances nocives et dangereuses dont le transport sur le territoire national ou à travers ses frontières est interdit ou soumis à autorisation préalable ou à déclaration de l'administration ;
- les conditions, les modes de conditionnement et de stockage, l'itinéraire et les dates de transport de ces substances.

Section 4 - Les nuisances sonores et olfactives

Art.47.- : Les bruits et les vibrations sonores, quelles qu'en soient l'origine et la nature, susceptibles de causer une gêne pour le voisinage, de nuire à la santé de l'homme ou de porter atteinte à l'environnement en général,

notamment lors de l'exercice des activités de production, de services, de mise en marche de machines et de matériels et d'utilisation d'alarmes et des haut-parleurs, doivent être supprimés ou réduits conformément aux dispositions législatives et réglementaire prises en application de la présente loi. Ces dispositions fixent les valeurs limites sonores admises, les cas et les conditions où toute vibration ou bruit est interdit ainsi que les systèmes de mesure et les moyens de contrôle.

Art.48.- : Est interdite l'émission d'odeurs qui, par leur concentration ou leur nature, sont incommodes et dépassent les normes fixées par voie réglementaire.

Chapitre 5 - Des instruments de gestion et de protection de l'environnement

Section 1 - Les études d'impact sur l'environnement

Art.49.- : Lorsque la réalisation d'aménagements, d'ouvrages ou de projets risquent, en raison de leur dimension ou de leur incidence sur le milieu naturel, de porter atteinte à l'environnement, le maître d'ouvrage ou le demandeur de l'autorisation est tenu d'effectuer une étude permettant d'évaluer l'impact sur l'environnement du projet et sa compatibilité avec les exigences de protection de l'environnement.

Art.50.- : Sont fixées par voie législative et réglementaire les ouvrages, activités, projets et opérations d'aménagements soumis aux études d'impact sur l'environnement, ainsi que les objectifs et le contenu de l'étude et les méthodes de surveillance du respect des normes et des mesures préventives.

Section 2 - Les plans d'urgence

Art.51.- : Pour faire face à des situations critiques génératrices de pollution grave de l'environnement du fait des accidents imprévisibles ou des catastrophes naturelles ou technologiques, des plans d'urgence sont élaborés par l'administration en collaboration avec les collectivités locales et les instances concernées conformément aux conditions fixées par voie réglementaire.

Art.52.- : Les textes d'application de la présente loi fixent les domaines, les conditions d'élaboration, le contenu et la mise en œuvre des plans d'urgence, ainsi que les conditions et les cas qui nécessitent la réquisition des personnes et des biens, l'occupation temporaire et la traversée des propriétés privées.

Art.53.- : L'exploitant de toute installation classée soumise à autorisation est tenu d'établir un plan d'urgence pour son installation prévoyant l'alerte des autorités compétentes et des populations avoisinantes, l'évacuation du personnel et les moyens permettant de circonscrire les causes des sinistres pouvant résulter de l'installation. Les installations existantes avant la publication de la présente loi bénéficient de délais transitoires fixés par voie réglementaire afin d'élaborer un plan d'urgence conformément aux dispositions de l'alinéa précédent.

Section 3 - Les normes et standards de qualité de l'environnement

Art.54.- : Des dispositions législatives et réglementaires fixent les normes et standards indispensables au maintien de la qualité de l'environnement.

Art.55.- : Les normes et standards de la qualité de l'environnement visés à l'article 54 sont fixés en tenant compte :

- des données scientifiques les plus récentes en la matière de l'état du milieu récepteur des déchets et des rejets ;
- de la capacité d'auto épuration de l'eau, de l'air et du sol ;
- des impératifs du développement durable économique et social national ;
- de la rentabilité financière de chaque secteur concerné ;
- des exigences sanitaires.

Art.56.- En plus des normes et standards à portée nationale, l'administration fixe, conjointement avec les instances concernées, des normes et standards plus rigoureux pour certains secteurs pollueurs ou zones particulièrement touchées ou susceptibles de l'être par la pollution ou se caractérisant par une fragilité particulière dans leur équilibre écologique.

Art.57.- L'administration met en place, conformément aux conditions fixées par les textes pris en application de la présente loi, un observatoire national de l'environnement et des réseaux régionaux d'observation, de contrôle et de suivi continu de la qualité de l'environnement.

Ces réseaux surveillent périodiquement, chacun dans son domaine, les composants et les polluants de l'environnement, fournissent les données aux autorités compétentes et peuvent requérir l'assistance des centres de recherche, des instituts scientifiques et universitaires et des autorités compétentes.

Section 4 - Les incitations financières et fiscales

Art.58.- Un système d'incitations financières et fiscales visant l'encouragement des investissements et le financement des projets portant sur la protection et la mise en valeur de l'environnement est institué

conformément aux textes pris pour l'application de la présente loi et à la loi cadre n° 18-95 formant charte de l'investissement.

Art.59.-Les textes pris pour l'application de la présente loi, visés à l'article 58 ci-dessus, fixent les subventions de l'Etat, les exonérations partielles ou totales des droits de douanes, de taxes ou d'impôts, les prêts à long terme, les crédits à intérêt réduit et toutes autres mesures d'incitation appropriées.

Section 5 - Fonds national pour la protection et la mise en valeur de l'environnement

Art.60.-Est institué un Fonds national pour la protection et la mise en valeur de l'environnement. Le cadre juridique, les missions, les ressources et les dépenses de ce fonds sont fixées par un texte d'application.

Art.61.-Le suivi des activités et des missions dudit fonds est assuré par l'autorité gouvernementale chargée de l'environnement.

Art.62.-Les ressources du fonds national sont destinées au financement des mesures incitatives prévues par la présente loi et exceptionnellement au financement des projets pilotes d'environnement et d'expérimentation.

Chapitre 6 - Des règles de procédure

Section 1 - Le régime spécial de responsabilité civile

Art.63.- Est responsable, même en cas d'absence de preuve de faute, toute personne physique ou morale stockant, transportant ou utilisant des hydrocarbures ou des substances nocives et dangereuses, ou tout exploitant d'une installation classée, telle que définie par les textes pris en application de la présente loi, ayant causé un dommage corporel ou matériel directement ou indirectement lié à l'exercice des activités susmentionnées.

Art.64.- : La personne à qui incombe la réparation dudit préjudice, aux termes de l'article 63, peut de limiter sa responsabilité à un montant global par incident. Ce montant est fixé par voie réglementaire.

Art.65.- : Si l'incident est causé par la faute de la personne mentionnée à l'article 63, elle n'est pas fondée à se prévaloir de la limitation de responsabilité prévue à l'article 64 ci-dessus.

Art.66.- : Pour bénéficier de la limitation de responsabilité prévue à l'article 64, la personne à qui incombe la réparation du préjudice doit déposer, auprès du tribunal où l'action est engagée, une caution dont le montant égale la limite de sa responsabilité. Cette caution peut être constituée soit par le dépôt d'une somme, soit par la présentation d'une garantie bancaire ou de toute autre garantie admise par la législation en vigueur.

Art.67.- : La répartition entre les créanciers de la valeur de la caution prévue à l'article 66 s'effectue proportionnellement au montant des créances admises.

Art.68.- : Si la personne à qui incombe la réparation du préjudice a versé, antérieurement à la répartition de la valeur de la caution susvisée, une indemnité en raison du dommage par pollution, elle est exemptée, à concurrence du montant qu'elle a payé, des droits que la personne indemnisée aurait reçus aux termes de la présente loi.

Section 2 - La remise en état de l'environnement

Art.69.- : Sous réserve des textes en vigueur et sans préjudice de l'application des sanctions pénales prévues par la législation en matière de réparation civile, l'administration peut imposer à tout auteur d'une infraction, ayant eu pour conséquence une dégradation de l'environnement, de remettre en l'état l'environnement lorsque cette remise en l'état est possible.

Art.70.- : L'administration peut imposer à tout exploitant exerçant une activité, ayant eu pour conséquence la dégradation de l'environnement, de remettre en l'état ce dernier même si la dégradation ne résulte pas d'une infraction aux dispositions de la présente loi et des textes pris pour son application.

Art.71.- : Dans les cas prévus aux articles 69 et 70 ci-dessus, l'administration fixe dans chaque cas les objectifs de remise en l'état de l'environnement à atteindre et les dates d'exécution des opérations de mise en valeur de l'environnement. A l'issue des travaux, elle procède à un examen des lieux et prend une décision donnant quitus lorsque les travaux accomplis sont conformes à ses prescriptions.

Art.72.- : Lorsqu'il n'est pas procédé à la remise en l'état de l'environnement dans les conditions fixées par l'article 71 ci-dessus et en cas d'absence de procédures spécifiques fixées par des dispositions législatives ou réglementaires, l'administration peut, après avoir mis en demeure la personne concernée par les mesures prises, exécuter lesdits travaux aux frais de la personne concernée.

Section 3 - La procédure de transaction

Art.73.- L'autorité compétente, en relation, s'il y a lieu, avec l'autorité chargée de l'environnement, est autorisée à transiger sur les contraventions prévues et sanctionnées par les dispositions de la présente loi et les textes pris pour son application. A cette fin, un procès-verbal est dressé par ladite autorité, fixant les modalités de la

transaction, son montant et les dates de son exécution. La transaction ne peut avoir lieu qu'après le prononcé du jugement définitif.

Le montant de la transaction ne peut être inférieur à l'amende prévue par la loi.

Art.74.- : La transaction visée à l'article 73 ci-dessus est exécutée, sans préjudice des éventuelles réparations civiles dues aux victimes d'un dommage et poursuivies devant les tribunaux civils.

Art.75. : Les poursuites judiciaires ne sont éteintes qu'après paiement total des sommes dues au titre de la transaction, telles que fixées par l'autorité compétente et agréées en accord avec le contrevenant. Le non respect des dispositions arrêtées dans le procès-verbal visé à l'article 73 entraîne la reprise de l'application de la procédure pénale.

Section 4 - La procédure et la poursuite des infractions

Art.76.- : Toute personne physique ou morale, ayant subi un préjudice dû à l'émission ou au rejet d'une matière, d'un son, d'une vibration, d'un rayonnement, d'une chaleur ou d'une odeur, ayant porté atteinte à sa santé ou des dommages à ses biens, a droit, dans les quatre-vingt-dix jours après la constatation des dommages, de demander à l'administration d'entre-

prendre une enquête. Les résultats de cette enquête sont communiqués au plaignant. En cas d'une demande urgente du plaignant, l'autorité doit l'informer dans un délai maximum de 60 jours. Tout refus ou classement de la demande doit être motivé par l'administration.

Art.77.-Sont chargés de la constatation des infractions aux dispositions de la présente loi, sous réserve de la législation et de la réglementation en vigueur et des textes pris pour son application, les officiers de la police judiciaire, les fonctionnaires et agents délégués à cet effet par l'administration compétente, les fonctionnaires des collectivités locales délégués par les présidents de s conseils communaux ainsi que les personnes assermentées conformément à la législation relative à la prestation du serment auquel sont soumis les agents verbalisateurs et tout expert ou personne morale chargée, à titre exceptionnel, de cette mission par l'administration.

Art.78.- : Les personnes susvisées, chacune dans son domaine de compétence et dans les limites de ses responsabilités et des attributions conférées à l'autorité dont elle dépend, peuvent pénétrer, conformément aux dispositions du code de procédure pénale, dans un terrain, dans une installation ou édifice autre qu'une maison d'habitation ou dans un véhicule afin de prélever des échantillons, installer des appareils de mesure, ou procéder à des analyses, lorsqu'il y a des raisons de croire que l'on s'y livre ou que l'on s'y est livré à une activité susceptible de constituer une infraction aux dispositions de la présente loi ou des textes pris pour son application.

Art.79.- : Les personnes chargées de constater les infractions dressent des procès verbaux qui déterminent, notamment, les circonstances et la nature de l'infraction ainsi que les explications du contrevenant.

Ces procès-verbaux sont adressés, dans le plus proche délai, au tribunal compétent et au gouverneur de la préfecture ou de la province concerné, sous réserve d'autres

dispositions législatives et réglementaires prévoyant des délais déterminés pour la prise des mesures administratives préalables à l'engagement d'une action afin de mettre en demeure le contrevenant et le contraindre à effectuer les réparations nécessaires et à éliminer les effets portant atteinte à l'environnement.

Chapitre 7 - Dispositions finales

Art.80.- : Sont abrogées toutes les dispositions législatives et réglementaires antérieures et contraires aux dispositions et aux principes généraux de la présente loi. La présente loi entre en vigueur à compter de la date de sa publication au Bulletin officiel.

Références

- Autret. F et Duval. G.** 2006. « Où en est le marché du CO2 ? » Alternatives économiques.
- Beaumais O . et Chiroleu-Assouline. M.** 2002, *Économie de l'environnement*, Amphi Bréal,
- Boemere. C et Hourcade.J-C** 2005. « Les instruments économiques au service de l'environnement, une efficacité mal comprise ». Cahiers français n° 327.
- Brahim H.B(2014).** Environnement et développement durable. *Ministère de L'Enseignement Supérieur et de Recherche Scientifique et de la Technologie*
- De Perthuis .Ch** 2006. « La finance carbone ». Revue d'économie financière ; téléchargeable de <http://dociep.univlyon2.fr/Ressources/Bases/Somrev/sommaire.html?ID=927>
- Duval. G.** 2006. « Climat : on en parle mais on ne fait rien » Alternatives économiques; Consultables sur <http://www.alternatives-economiques.fr/climat-on-en-parle--beaucoup---mais-on-ne-fait--presque--rien fr art 206 24236.html>
- Gaulier. G. & Kousnetzoff. N.** 2007. La mesure des liens entre environnement et croissance, L'économie mondiale, coll. Repères, La Découverte.
- Guesnerie. R.** 2003. « Kyoto et l'économie de l'effet de serre » rapport du CAE. Téléchargeable de <http://www.cae.gouv.fr/spip.php?article90>
- Guesnerie.R.** 2005. « Pourquoi un marché de permis d'émissions ? Le cas du protocole de Kyoto » Cahiers français.
- Jurgensen. Ph.** 2009, *L'économie verte*, Odile Jacob
- Lévêque. Ch et Sciama. Y.** 2005. « Développement durable ». DUNOD. 226p.
- Lévêque. F .** 2004. « Economie de la réglementation » La découverte.
- Lipietz.A., Bureau. D., Hourcade. J-Ch., Godart. O. et Henry.Cl.** 1998 « Fiscalité de l'environnement » rapport du CAE. téléchargeable de <http://www.cae.gouv.fr/spip.php?article15>
- Petit. O.** 2004. *Entreprises et environnement. Rapport à la commission des comptes et de l'économie de l'environnement.* Ministère de l'écologie et du développement durable. La documentation française. Consultables sur <http://developpementdurable.revues.org/index1236.html>
- Rotillon. G.** 2005. *L'économie des ressources naturelles*, Repères La Découverte.
- Vallée. A.** 2002. *L'économie de l'environnement*, Points Le Seuil

□ Annexes

- Loi n°11-03 relative à la protection et à la mise en valeur de l'environnement
- Loi relative à la gestion des déchets
- Loi 10/93 sur l'eau