



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DES FRERES MENTOURI / CONSTANTINE 1
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET ECOLOGIE VEGETALE

Polycopié pédagogique

Programme 2^{ème} année Sciences de la Nature et de la Vie

Filières : Ecologie et Environnement

Sciences Biologiques



Dr. KARA Karima

2022-2023

Sommaire

Introduction	1
1. Définition.....	2
1.1. Notion d'environnement.....	2
1.2. Les composantes de l'environnement.....	3
1.2.1. Le monde vivant.....	4
1.2.2. Le monde non vivant.....	4
1.3. Notion du développement durable.....	5
1.3.1. L'émergence du développement durable dans les années 1990.....	8
1.3.2. La notion actuelle du développement durable	9
1.3.3. Eléments du développement durable en Algérie.....	11
2. Signification du développement.....	11
2.1. Les principales dimensions de la crise environnementale.....	12
2.1.1. La démographie humaine.....	14
2.1.2. Le réchauffement climatique	16
2.1.3. Les énergies fossiles (énergies non renouvelables).....	21
2.1.4. Epuisement des ressources naturelles.....	29
2.1.5. L'eau potable.....	35
2.1.6. La biodiversité.....	37
2.1.7. L'agriculture	45
2.2. Le développement durable. Pourquoi ?.....	51
2.3. Le concept du développement durable	53
2.4. Le domaine du développement durable.....	60
2.5. Les principes du développement durable.....	61
2.5.1. Le principe de précaution.....	61
2.5.2. Le principe de prévention.....	62
2.5.3. Le principe de responsabilité.....	62
2.5.4. Le principe de solidarité.....	63
2.5.5. Le principe d'équité sociale.....	63
2.5.6. Le principe du pollueur-payeur.....	64

2.6. Quelques indicateurs du développement durable	64
2.6.1. Empreinte écologique et bio-capacité.....	65
2.6.2. Indicateur d`impact sur l`environnement.....	73
2.6.3. Indice de Performance Environnementale (IPE).....	81
2.6.4. Indice développement humain (IDH).....	84
2.6.5. Le Produit Intérieur Brut (PIB).....	89
2.6.6. Le Taux de scolarisation garçons/filles.....	94
2.6.7. Accessibilité aux soins.....	95
2.7. Education environnementale.....	98
2.7.1. Le concept de l`éducation environnementale.....	98
2.7.2. Sensibilisation et animation nature.....	102
2.7.3. Communication environnement.....	106
Références bibliographiques.....	108

Introduction

Les notions d'environnement et de développement durable sont récentes et mises au premier plan depuis quelques dizaines d'années seulement. Elles font actuellement partie des préoccupations courantes des acteurs prépondérants de la communication dans le domaine de la gestion de l'environnement et de sa préservation. Ces deux notions ont également investi l'action politique de la quasi-totalité des pays du monde, elles ont même fini par devenir une partie intégrante de nos enseignements académiques, dès l'école primaire.

L'observation courante de notre environnement écologique et des éléments qui le constituent (air, eau, terre..) nous invitent à réfléchir sur son avenir et surtout sur le capital naturel qui en sera légué aux générations futures : ressources hydrauliques surexploitées, air pollué, zones rurales détruites par l'envahissement incessant de l'urbanisation, océans et mers polluées, ressources minières et énergétiques outrancièrement exploitées et en de voie raréfaction accélérée, faune et une flore en voie d'extinction... C'est malheureusement, le risque du souvenir d'une terre agréable à vivre qui sera décrite par nos historiens et scientifiques, une image qui demeurera un simple mirage pour les générations futures.

Après la sensibilisation de l'homme aux problèmes environnementaux et aux dégâts de ses activités domestiques et économiques sur son environnement, le passage aux actions correctives s'est avéré vital mais il reste timide, avec pour image l'échec réitéré des COP, dont les résolutions ambitieuses mais objectives n'ont jamais connu de réelles applications : COP15 sur la biodiversité, COP21 et jusqu'à la COP27 sur le climat et sur le changement climatique.

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. Tant il est nécessaire d'éduquer les futures générations sur les principes de respect et de préservation de notre environnement écologique.

Dans le cadre de la mondialisation, certains critères de la croissance et de la qualité des produits économiques se révèlent étroitement liés aux critères de préservation de l'environnement. D'où la nécessité d'introduire les notions d'environnement, dans ses dimensions d'impact et de préservation, pour comprendre les nouvelles exigences des secteurs économiques en matière de développement durable.

Le présent recueil de cours recouvre les objectifs globaux de la formation des étudiants du Socle commun L2 des filières « Ecologie et Environnement » et « Sciences Biologiques » de la faculté des Science de la Nature et de la Vie.

Les objectifs de ce cours sont de :

- 1- Donner un aperçu historique sur l'évolution de la notion d'environnement ainsi que sur le rôle de l'homme dans la modification de son environnement écologique, à travers l'étude du développement et de l'impact de faits historiques.
- 2- Expliquer la relation entre les notions de développement durable et d'environnement.
- 3- Définir les principales dimensions de la crise environnementale et expliquer Les variations des paramètres climatiques, l'épuisement des ressources naturelles, la perte de la biodiversité et les enjeux du développement de l'agriculture.
- 4- Présenter les différents types de ressources, notamment les ressources énergétiques.
- 5- Mieux cerner le concept du développement durable à travers différentes approches, de même que son extension dans les différents domaines.
- 6- Présenter les différents indicateurs et principes du développement durable ainsi que leurs conséquences sur l'environnement.
- 7- Sensibiliser et informer sur l'importance de l'éducation environnementale dans le cursus de formation universitaire.

Le but majeur de ce cours est aussi de donner aux futurs Licenciés et Masters de la filière « Ecologie et Environnement » les notions de base sur l'environnement, tout en les sensibilisant sur l'impact de l'homme et de ses activités domestiques et industrielles sur sa situation écologique. A cet égard, il est impératif de mettre en évidence l'importance de la protection de l'environnement et de la stabilité socioéconomique dans le cadre d'un développement durable objectivement et convenablement perçu.

1. Définitions

1.1. Notion d'environnement

Avant le 19^{ème} siècle, la notion d'environnement avait une connotation de respect de la vie et des êtres vivants et les concepts d'environnement économique, naturel ou urbain, ne

semblaient pas encore exister. A partir du 19^{ème} siècle, le milieu artistique tel que le mouvement du romantisme a mis en avant la beauté des paysages naturels sauvages, avec en filigrane la nécessité de préserver ces biens précieux. Sans que cet aspect, aujourd'hui majeur et évident ne soit encore perçu.

La première définition technique anglo-saxonne de " *environment* " est apparue dans les années 1920, avec l'énoncé suivant : *conditions naturelles (physiques, chimiques, biologiques) et culturelles (sociologiques) susceptibles d'agir sur tous les organismes vivants et sur les activités humaines*. Par la suite, l'utilisation du vocable " environnement " s'est développée à partir des années 1960 pour englober et signifier actuellement : *les ressources naturelles biotiques (faune, flore) et abiotiques (air, eau, sol) et leurs interactions réciproques, les aspects caractéristiques du paysage et les biens que composent l'héritage culturel*.

L'environnement 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, des pollutions d'origine diverses jusqu'aux cataclysmes climatiques.

Il est à noter que certains scientifiques soulignent que le mot environnement est à différencier du mot nature. Dans cette optique, la nature désignerait l'ensemble des éléments naturels, biotiques et abiotiques, tels que : l'air, l'eau, l'atmosphère, les roches, les végétaux, les animaux considérés seuls. Alors que la notion d'environnement s'intéresserait à la nature par rapport aux activités humaines, ainsi qu'aux multiples interactions entre l'homme et la nature.

La notion d'environnement englobe aujourd'hui l'étude des milieux naturels, l'action néfaste de l'homme sur l'environnement et les actions engagées pour les réduire.

En Algérie, la législation définit l'environnement par la loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 comme étant : *«Les ressources naturelles abiotiques et biotiques telles que l'air, l'atmosphère, l'eau, le sol et le sous-sol, la faune et la flore, y compris le patrimoine génétique, les interactions entre lesdites ressources ainsi que les sites, les paysages et les monuments naturels»*.

1.2. Les composantes de l'environnement

L'environnement correspond au monde qui nous entoure. Il comprend des éléments non vivants ou minéraux (roches, air, eau) et les organismes vivants qui entretiennent des rapports directs ou indirects, permanents ou temporaires, positif ou négatif avec l'homme.

1.2.1. Le monde vivant

Le monde vivant est formé par l'ensemble des organismes vivants, tous capables de se reproduire pour assurer une descendance. Tous les organismes vivants naissent, vivent plus ou moins longtemps et meurent. Ils puisent de l'eau et des éléments nutritifs dans leur milieu de vie pour satisfaire leurs besoins et assurer leur croissance. Cependant, il n'est pas toujours facile de repérer qu'un organisme vivant s'alimente. En effet, certains cessent de s'alimenter à certaines périodes de leur vie (la marmotte et d'autres animaux hibernent) et les végétaux s'alimentent de manière imperceptible. Le monde vivant a également la capacité de se déplacer et de respirer. La respiration concerne tous les êtres vivants mais certains microbes ne respirent pas et vivent dans un milieu anaérobie (microorganismes anaérobies).

1.2.2. Le monde non vivant

Le monde inerte (non vivant) ne peut se reproduire. Il comprend des composantes minérales, des éléments issus du vivant et des productions humaines.

- **Les composantes minérales :**

Elles regroupent les éléments non vivants ou minéraux de l'environnement : le sol et la terre, les eaux et l'air.

- **Le sol :** C'est la mince couche située entre l'atmosphère et le sous-sol. Elle provient de la décomposition des êtres vivants après leur mort et de la lente dégradation physicochimique et biologique des roches du sol et du sous-sol. Il est constitué de trois grandes couches : La couche arable qui se trouve à la surface, le sous-sol qui renferme les minéraux formant des roches et la roche du fond. Le sol est très important pour la vie de l'homme. Il lui permet de pratiquer l'agriculture et l'élevage, d'ériger des constructions (Bâtiments, routes, ponts) de se fournir en matières premières vitales (métaux, hydrocarbures, phosphates...).
- **L'eau :** Elle couvre 75% de la surface terrestre et se compose d'eau douce ou salée, à l'état liquide, gazeux ou solide. C'est un constituant fondamental de la vie et de l'environnement. L'eau est utilisée pour l'agriculture, l'alimentation, la pêche, le transport, la construction, la production d'énergie...
- **Le sous-sol:** Il contient les roches qui diffèrent selon les conditions et l'endroit.
- **L'atmosphère gazeuse :** Elle se compose de plusieurs gaz dont quatre cinquièmes d'azote, un cinquième d'oxygène, des traces de gaz carbonique, de quelques gaz rares

et de la vapeur d'eau. Son oxygène est indispensable à la respiration de tous organismes vivants.

Ces dernières années, les vents sont devenus une source d'énergie électrique significative, dite énergie verte (éolienne), alors qu'ils étaient déjà exploités au moyen-âge dans le mouvement des norias hydrauliques et des moulins.

- **Les productions anthropiques**

Les éléments de production humaine font partie du non vivant : un tableau, un ordinateur, un bâtiment, une voiture... De même que les cadavres d'animaux, une plume d'oiseau, un morceau de bois, une feuille tombée d'un arbre... ne font plus partie du vivant car ils ne sont plus capables de se reproduire, ni de perdurer.

Les êtres vivants établissent également des relations entre eux. Les mâles et les femelles d'une même espèce se reproduisent : le cerf et la biche, le cheval et la jument... Alors que beaucoup d'espèces vivantes parents s'occupent de leur progéniture : la baleine, le scorpion. De même que tous les êtres vivants, à l'exception des végétaux, se nourrissent à partir d'autres êtres vivants : le lapin se nourrit de carottes et les végétaux abritent des animaux : le geai niche dans un chêne...

Les êtres vivants établissent également des relations avec le monde minéral : ils boivent de l'eau, respirent l'air qui les entoure et utilisent le sol ou des roches pour se fixer ou pour se déplacer.

En définitive, les éléments de l'environnement sont d'une importance capitale pour la survie de l'homme. Ce dernier gagnerait à préserver les composantes de son environnement car chaque élément participe à l'équilibre global de la nature.

1.3. Notion du développement durable

Le développement durable (développement soutenable) est une conception récente de la croissance économique. L'utilisation de l'expression du développement durable dans le langage courant remonte aux années 1970, soit bien après la seconde guerre mondiale alors que le monde connaissait de multiples crises et échecs.

Mais c'est à partir des années 1980 que ses concepts prennent effet, d'une part face à la diminution des réserves naturelles, des réserves fossiles et aux différentes pollutions engendrées par les activités humaines et, d'autre part, par rapport aux différents problèmes socioéconomiques importants dont : le chômage, la crise de l'énergie et les premiers accidents industriels graves.

Voici quelques exemples des crises économiques et sociales qui ont secoué le monde au 20^{ème} siècle :

- 1907 : crise bancaire américaine,
- 1923 : crise de l'hyperinflation américaine,
- 1929 : début de la crise financière mondiale des années 1930,
- 1968 : mouvement social de mai 1968 dans le monde,
- 1973 et 1979 : chocs pétroliers,
- 1982 : choc de la dette des pays en développement...

Et quelques exemples de crises écologiques :

- 1954 : retombées nucléaires de Rongelap/Iles Marshall,
- 1956 : crise de l'intoxication au mercure de Minamata/Japon,
- 1957 : marée noire, suite au naufrage du *Torrey Canyon*/France,
- 1976 : catastrophe industrielle de Seveso/Italie,
- 1984 : catastrophe chimique de Bhopal/Inde,
- 1986 : catastrophe nucléaire de Tchernobyl/URSS (Ukraine),
- 1989 : marée noire, suite au naufrage de l'*Exxon-Valdez*/France,
- 1999 : marée noire, suite au naufrage de l'*Erika*/France.

Mais aussi : le réchauffement climatique, la pollution de l'air, la question de la couche d'ozone, l'érosion continue de la biodiversité....

Le développement durable est un concept relativement peu connu jusqu'à la seconde moitié du 20^{ème} siècle. Il a rapidement pris de l'importance face à la multiplication des crises écologiques et de leurs conséquences sur les sociétés humaines. Au fur et à mesure de l'avancée des connaissances scientifiques avec des enjeux majeurs, comme ceux de la couche d'ozone, du réchauffement climatique ou de la disparition de la biodiversité. La communauté internationale a pris alors conscience de la nécessité de trouver un modèle économique susceptible de permettre d'assurer les besoins sociaux sans détruire l'écosystème.

L'environnement devient ainsi une préoccupation des pays développés, alarmés par l'explosion démographique des pays pauvres et par l'épuisement des ressources naturelles, (métaux, pétrole, gaz...) et la raréfaction de l'eau.

C'est dans ce contexte que la commission des Nations Unies pour l'environnement et le développement propose le développement durable comme alternative. L'expression de développement durable a d'abord été médiatisée par la publication du rapport Brundtland en

1987, intitulé *Notre avenir à tous*, par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement. Le développement durable y est défini comme : ***un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins.***

La deuxième *Stratégie mondiale de la conservation*, publiée en 1991 *Sauver la planète* définit le développement durable comme suit: ***améliorer les conditions d'existence des communautés humaines tout en restant dans les limites de la capacité de charge des écosystèmes.***

Le Traité de Maastricht sur l'Union européenne définit le développement durable comme : ***un développement harmonieux et équilibré des activités économiques, une croissance durable et non inflationniste, respectant l'environnement.***

Le cinquième programme *Environnement* de la Commission européenne indique que le développement durable implique : ***un développement économique et social ne nuisant pas à l'environnement et aux ressources naturelles sur lesquelles reposent les activités humaines et le développement.***

Le Livre blanc CE sur la croissance, la compétitivité et l'emploi le définit comme suit: ***qui contribue à une croissance de l'emploi et à une moindre consommation d'énergie et de ressources naturelles***

L'Association canadienne de santé publique indique (1991) que : ***le développement humain et la réalisation du potentiel humain nécessitent une forme d'activité économique durable, d'un point de vue social et environnemental pour les générations actuelles et futures.***

Cette notion repose sur trois grands piliers : le social, l'économie et l'environnement. Ces zones s'entrecoupent, ce qui donne une représentation des piliers du développement durable comme suit :

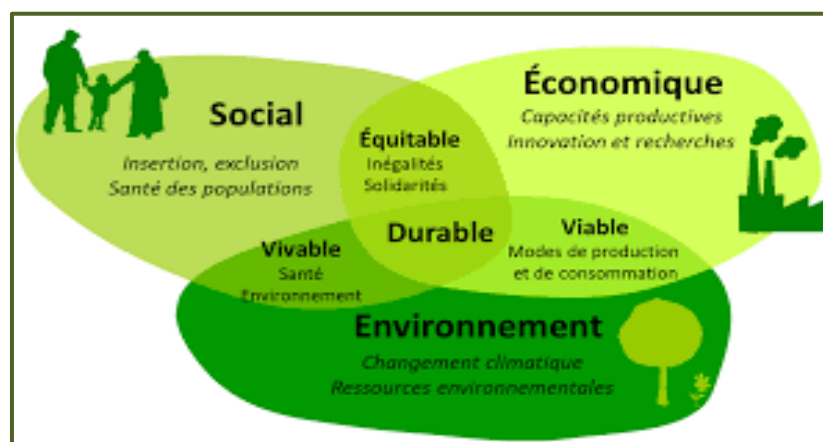


Figure 1 : Les différents piliers du développement durable

(Réf : <http://natureculture.org>)

Elle a comme ambition de réconcilier efficacité économique, justice sociale et conservation de la nature, en définissant les intersections des différents piliers à se réunir dans la perspective du développement durable. Ces trois piliers sont communément représentés sous forme de sphères qui délimitent la zone d'influence.

Le développement durable peut être défini comme un mode de fonctionnement des activités humaines, avec ses trois piliers (Figure 1) :

- **Le pilier Economique** : l'économie est un pilier qui occupe une place prééminente dans notre société de consommation. Le développement durable implique la modification des modes de production et de consommation en introduisant des actions pour que la croissance économique ne se fasse pas au détriment de l'environnement et du social. Il s'agit d'agir pour une répartition plus égalitaire des richesses et de limiter les externalités négatives liées au développement économique.
- **Le pilier Social** (ou encore le pilier humain) : Le développement durable englobe la lutte contre l'exclusion sociale et prône l'accès généralisé aux biens et aux services. Il lutte pour de meilleures conditions de travail, pour l'amélioration de la formation des salariés et leur diversité ainsi pour le développement d'un commerce équitable et local. Le développement durable englobe la lutte contre les inégalités économiques, sociales et la pauvreté entre les pays dans le monde,
- **Le pilier Environnemental** : il s'agit du pilier le plus connu. Le développement durable est souvent réduit à tort à cette seule dimension environnementale. Il est vrai que, dans les pays industrialisés, l'environnement est l'une des principales préoccupations en la matière. Le développement durable s'attache à la protection de la terre et de l'environnement à la gestion des ressources naturelles et aux problèmes liés au réchauffement climatique sur terre. Il s'agit de rejeter les actes nuisibles pour que l'écosystème, la biodiversité, la faune et la flore puissent être préservées.

Ces paradigmes doivent être valables dans l'espace (solidarité entre pays riches et pays pauvres) et dans le temps (préserver la terre pour les générations futures).

1.3.1. L'émergence du développement durable dans les années 1990

Elle résulte d'une situation de crise initiée depuis le 19^{ème} siècle et résumée par les «3M» (Figure 2):

- **Menaces environnementales sur la planète** : désertification, atteintes de la biodiversité, pollution des eaux et de l'air, changement climatique... ;

- Misères sociales de l'humanité: pauvreté persistante, inégalités croissantes, sous-alimentation, manque d'eau potable, endémies... ;
- Manque de gouvernance mondiale : déséquilibres pays du Nord/pays du Sud.

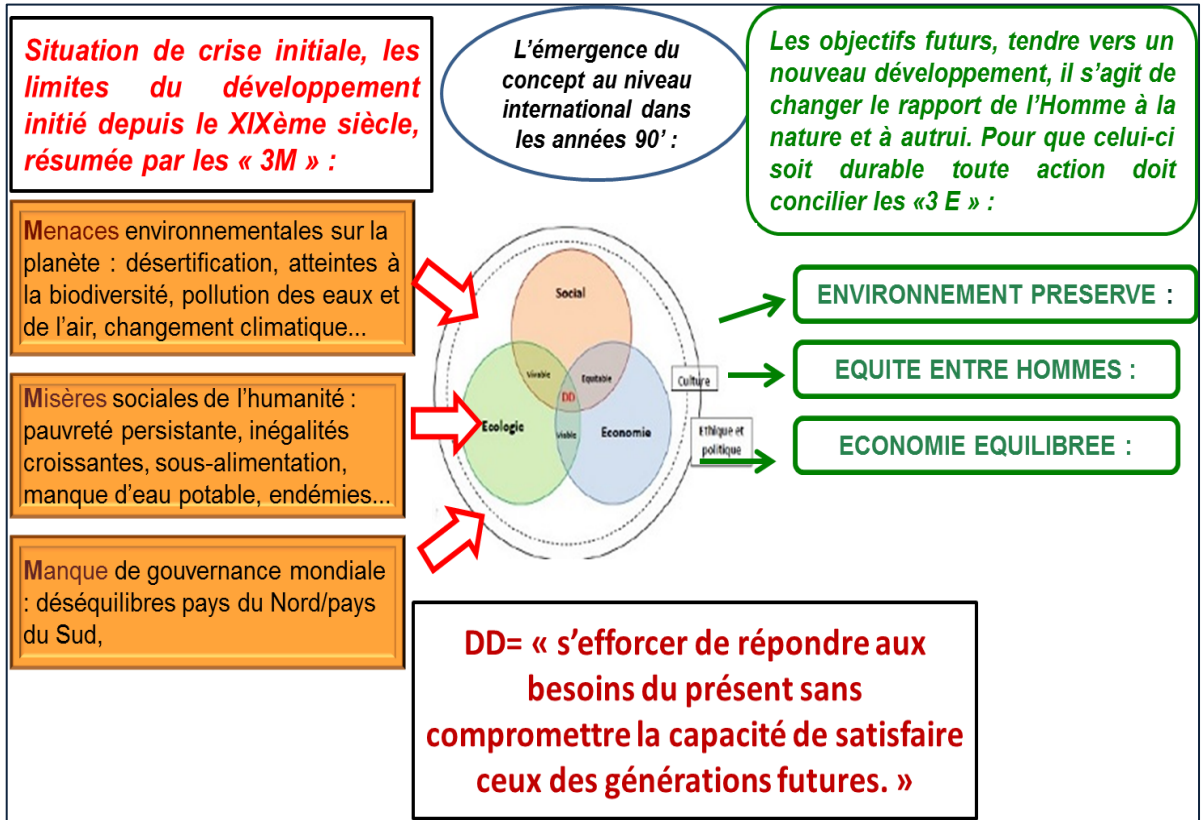


Figure 2 : L'émergence du développement durable.

1.3.2. La notion actuelle du développement durable

Aujourd'hui, la notion de développement durable peut être illustrée par trois cercles imbriqués, qui représentent : un **environnement sain**, une **économie performante** et une **équité sociale**, ils se doivent de concilier les «3E» (Figure 2):

- **Environnement préservé:** Protéger la biodiversité, préserver les ressources naturelles renouvelables, gérer et valoriser les déchets. Contrôler le réchauffement climatique et l'effet de serre, les pollutions, la désertification, la déforestation, l'érosion... ;
- **Equité sociale:** Assurer le bien-être de tous les citoyens, avec la possibilité pour chacun d'accéder, quel que soit son niveau de vie, aux besoins essentiels : santé, alimentation, droit au travail, éducation... ;
- **Economie améliorée:** Par une agriculture, dite durable, assurer une sécurité alimentaire, des échanges internationaux, un commerce équitable, la propriété industrielle...

Le développement durable est basé sur une idée fondamentale qui consiste à être conscient que les ressources de la planète ne sont pas illimitées. Alors que la population ne cesse d'augmenter (2 milliards d'habitants en 1960, 8 milliards en 2022 et 9 milliards en 2050, selon les prévisions de l'ONU) et les technologies de se développer. Le développement durable est donc bénéfique pour les générations futures, tout en profitant aux générations actuelles. C'est en soi un projet sans précédent pour l'humanité. Le social doit être un objectif, l'économie un moyen et l'environnement une condition. Le développement est durable s'il est conçu de manière à assurer la pérennité du bénéfice pour les générations futures. Le développement durable est aussi une approche qui nécessite une action publique organisée et pérenne, en particulier pour défendre la nature et l'environnement et les intérêts des générations futures et des pays du sud (Figure 3).

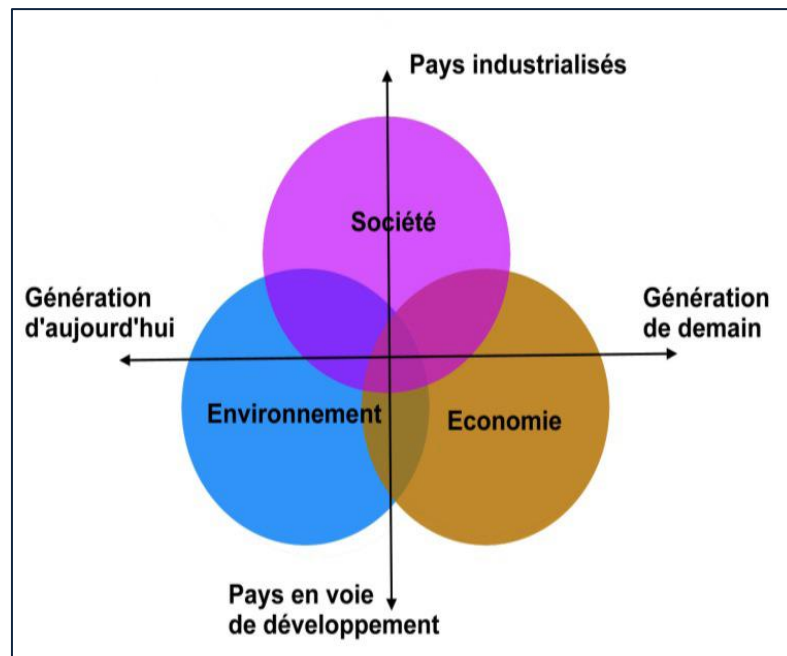


Figure 3 : Pilier du développement durable illustrant les interdépendances globales

(Réf : <https://www.greenmaterials.fr>)

Cette illustration résume les constatations suivantes :

- Effets de l'activité économique sur l'environnement (utilisation des ressources, rejets de polluants, déchets...);
- Services apportés à l'économie par l'environnement (ressources naturelles...);
- Services apportés à la société par l'environnement (accès aux ressources, contributions à la santé et aux conditions de vie et de travail...);

- Effets des variables sociales sur l'environnement (changements démographiques, éducation et information en matière d'environnement...);
- Effets des variables sociales sur l'économie (structure de la main-d'œuvre, éducation et formation...);
- Effets de l'activité économique sur la société (niveau des revenus, équité, emploi...).

Les interdépendances globales doivent être prises en compte, surtout dans leurs aspects Nord/Sud. A long terme, le développement durable a pour but d'améliorer la qualité de vie de l'humanité qui vit dans de vastes zones une précarité parfois extrême.

1.3.3. Eléments de développement durable en Algérie

Les premières lois algériennes dans le domaine du développement durable datent des années 1990. Le Haut Conseil de l'Environnement a été créé en 1994. Ce Conseil est chargé de surveiller l'état de l'environnement en Algérie, de déterminer les grandes stratégies en matière de protection de l'environnement et de suivre les mesures au niveau international. Il doit présenter un rapport annuel au Président de la République.

En 2002, l'Observatoire National de l'Environnement et du Développement durable est créé. En 2002 et 2003, des lois ont été établies pour la création de villes nouvelles respectueuses de l'environnement.

Plusieurs accords avec différents pays ont été signés dans le cadre de la protection de l'environnement.

Des lois sur la régulation de la pêche et sur le tourisme propre ont aussi été promulguées. Des lois concernant la production de l'énergie ont aussi été établies. Récemment, un Plan National d'Action Environnementale et de Développement Durable a été mis en œuvre par le Ministère des Ressources en Eau et de l'Environnement.

2. Signification du Développement

La notion du développement, telle que développée par les économistes, tire son origine des sciences du vivant (le développement d'un organisme étant l'évolution de l'état embryonnaire vers l'état adulte). C'est en fait un ensemble de mesures techniques : utilisation des connaissances scientifiques, croissance de la productivité, amélioration de la santé, éducation, réduction de la pauvreté, croissance économique. La croissance, quant à

elle, correspond, à un changement quantitatif (augmentation de la richesse d'un pays). Ces deux phénomènes ne sont pas nécessairement liés.

- Il peut y avoir une croissance sans développement : dans ce cas les quantités produites augmentent, sans qu'il y ait une amélioration du niveau de vie de la population.
- Il peut y avoir développement sans croissance : dans ce cas, les quantités produites sont stables mais une répartition différente des richesses produites permet à plus d'habitants de satisfaire leurs besoins vitaux.
- Il peut y avoir croissance et développement à la fois : dans ce cas les quantités produites augmentent et la population parvient à utiliser ces richesses pour améliorer le bien-être du plus grand nombre.

2.1. Les principales dimensions de la crise environnementale

La crise environnementale résulte de la conjugaison de plusieurs facteurs : l'explosion démographique, la surexploitation et le gaspillage des ressources naturelles, les désordres écologiques induits par les pollutions.

Les activités humaines sont à l'origine principale des problèmes environnementaux. Ces activités humaines ont trois catégories majeures d'impacts directs, soient :

- La raréfaction et l'épuisement des ressources,
- La pollution,
- La destruction des habitats.

Ces trois conséquences directes des activités humaines sont à l'origine des diverses crises environnementales, regroupées sous le terme de crise environnementale globale (Figure 3).

Les huit crises environnementales qui constituent la crise globale sont :

- 1- L'érosion de la diversité biologique,
- 2- La dégradation des océans (acidification, pollution plastique...),
- 3- Le réchauffement planétaire et les changements climatiques induits,
- 4- L'altération des cycles biogéochimiques des éléments (carbone, azote, phosphore,),
- 5- La diminution de la qualité des sols,
- 6- La déforestation,
- 7- La désertification,
- 8- La perturbation de la répartition de l'ozone stratosphérique (trou de la couche d'ozone).

Ces crises environnementales contribuent à différentes crises humaines, telles que :

- La réduction de la disponibilité, de l'accès et de la qualité de l'eau potable,
- L'accès aux soins sanitaires,
- La crise alimentaire,
- Le phénomène, désormais exponentiel, des réfugiés environnementaux ou réfugiés climatiques,
- Les catastrophes environnementales (inondations, sécheresses accidents industriels et nucléaires majeurs...),
- La menace pour la santé (pandémies diverses : Covid, Sida, Sras, Ebola, grippe aviaire, maladies pulmonaires, cancers...),
- Les pertes pour la culture et la science.

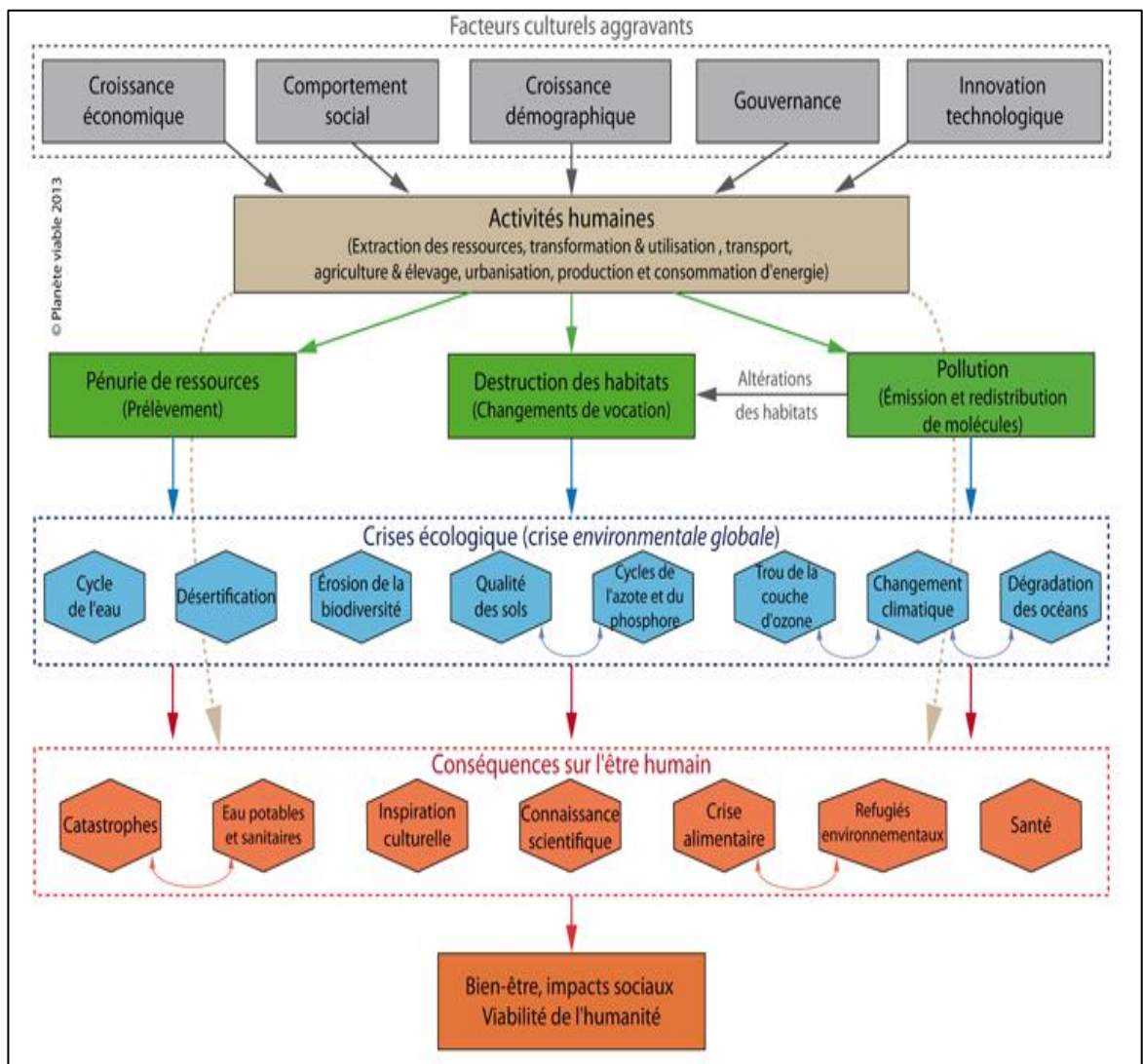


Figure 3 : Liens entre les activités humaines et les facteurs « culturels », leurs conséquences directes (impacts directs), les crises environnementales et leurs conséquences humaines.

(Réf : <https://planeteviable.org/>)

Les causes principales de la crise de l'environnement sont les suivantes :

2.1.1. La démographie humaine

Elle est à l'origine de nombreuses catastrophes écologiques, notamment la destruction des ressources naturelles. Elle apparaît comme l'une des causes fondamentales de la crise globale de l'environnement.

L'histoire de l'humanité a été marquée par une croissance démographique très lente. Il a fallu attendre le début du 20^{ème} siècle et les années 1920 pour que la population mondiale atteigne respectivement 1 milliard puis 2 milliards d'individus. Cependant, durant le siècle écoulé, la population a augmenté beaucoup plus vite : 3 milliards d'habitants en 1960 puis 7 milliards en 2017 et enfin 8 milliards en 2022 (Figure 4). Selon la projection moyenne de la Division de la Population de l'ONU (DPNU), qui suppose que la fécondité suit ses tendances historiques, la population mondiale dépassera 8,5 milliards en 2030 et atteindra 9,5 milliards en 2050 et les 11 milliard en 2100 (Figure 5). Ce qui reviendrait à ajouter la population de la Chine et l'Inde à la population mondiale actuelle.

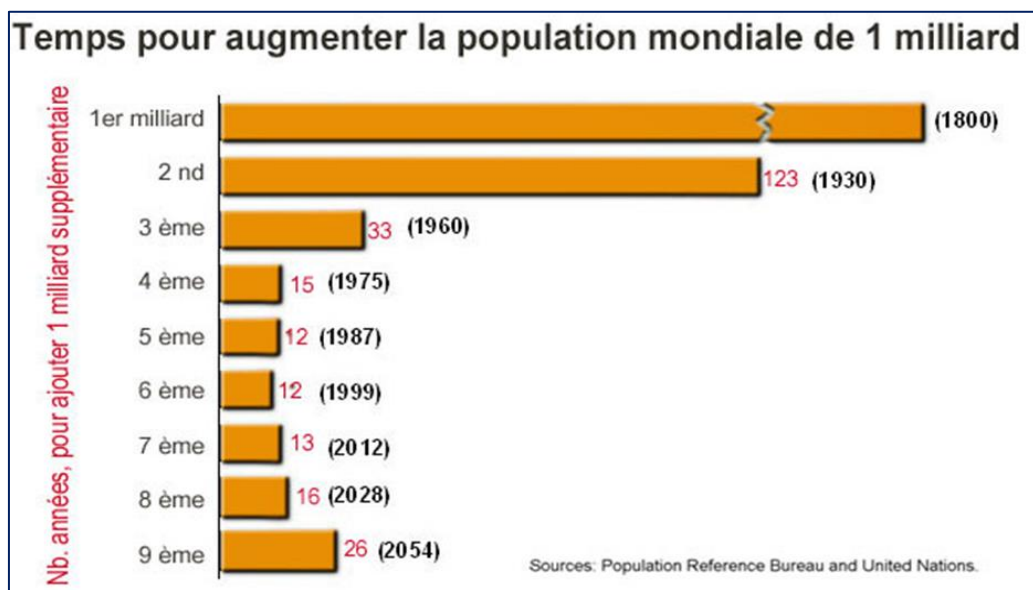


Figure 4 : Evolution de la population mondiale de 1800 à 2050

(Réf : <https://www.pdfprof.com>)

L'expansion démographique et l'urbanisation accélérée qui l'accompagne impliquent plus d'individus à nourrir, avec plus d'espace à occuper et à cultiver. Ce fait implique forcément une plus grande exploitation des ressources naturelles physiques (eau, sol...) et des ressources vivantes (poissons, bétail bovin et ovin...). Les effets combinés des croissances démographique et économique exerceront inévitablement des pressions environnementales qui augmenteront de manière significative, voire exponentielle.

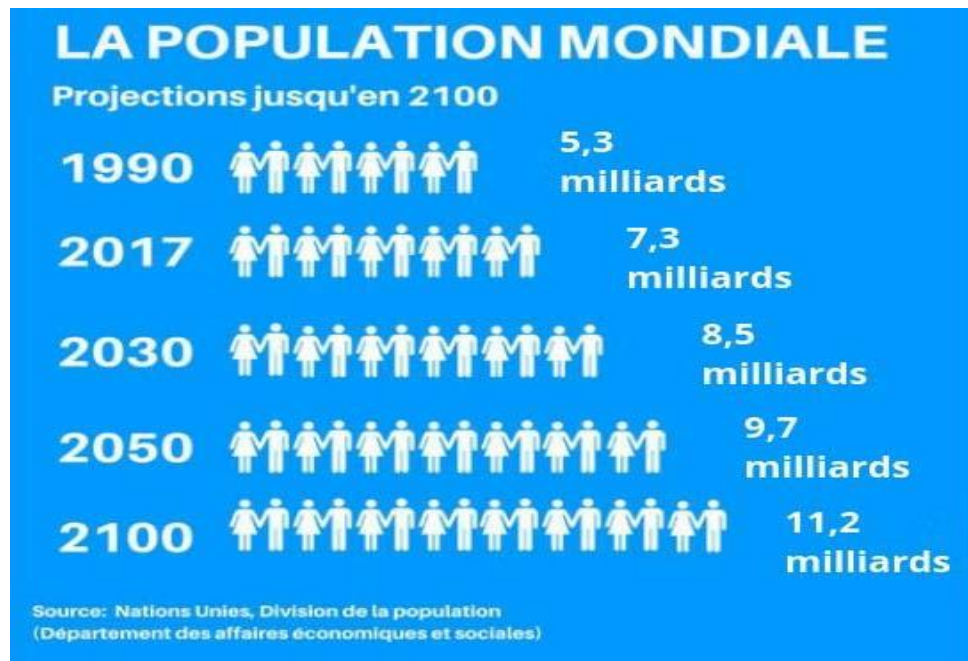


Figure 5 : Prévission de la population mondiale avec une projection jusqu'à 2100
(<https://www.save4planet.com>)

Les nations développées sont aujourd'hui principalement responsables des impacts écologiques les plus importants, en raison de leur forte consommation de ressources par habitant, ainsi que par l'ampleur de leurs pollutions. Si les pays en développement réussissent à augmenter le niveau de vie de leurs populations croissantes – comme l'ont fait la Chine et d'autres pays d'Asie de l'Est – leur demande de nourriture et de ressources ainsi que leurs pollutions par habitant, s'accroîtront également.

Dans les 40 ans à venir, la croissance démographique se concentrera à 99 % dans les régions moins développées : l'Afrique, l'Amérique latine, les Caraïbes, l'Asie (hors Japon) et la Polynésie. La population africaine enregistre une croissance démographique deux fois plus rapide que celle du monde. L'Afrique abrite aujourd'hui un sixième de la population mondiale mais elle captera 54 % de la croissance démographique mondiale d'ici 2050. Ainsi avec la montée de cette population, les réserves d'eau diminueront et les gestes éco-citoyens auront tendance à ne plus être respectés.

D'autres évolutions notables sont aussi attendues d'ici les années 2050 (Figure 6) :

- L'Inde sera le pays le plus peuplé, devant la Chine ;
- Le Nigéria comptera 400 millions d'habitants et sera le plus peuplé d'Afrique. Il devancera les Etats Unis, l'Indonésie, le Pakistan et le Brésil ;
- La population diminuera de 10% en Russie et augmentera au Mexique, à un rythme légèrement inférieur à la moyenne mondiale de 32%.

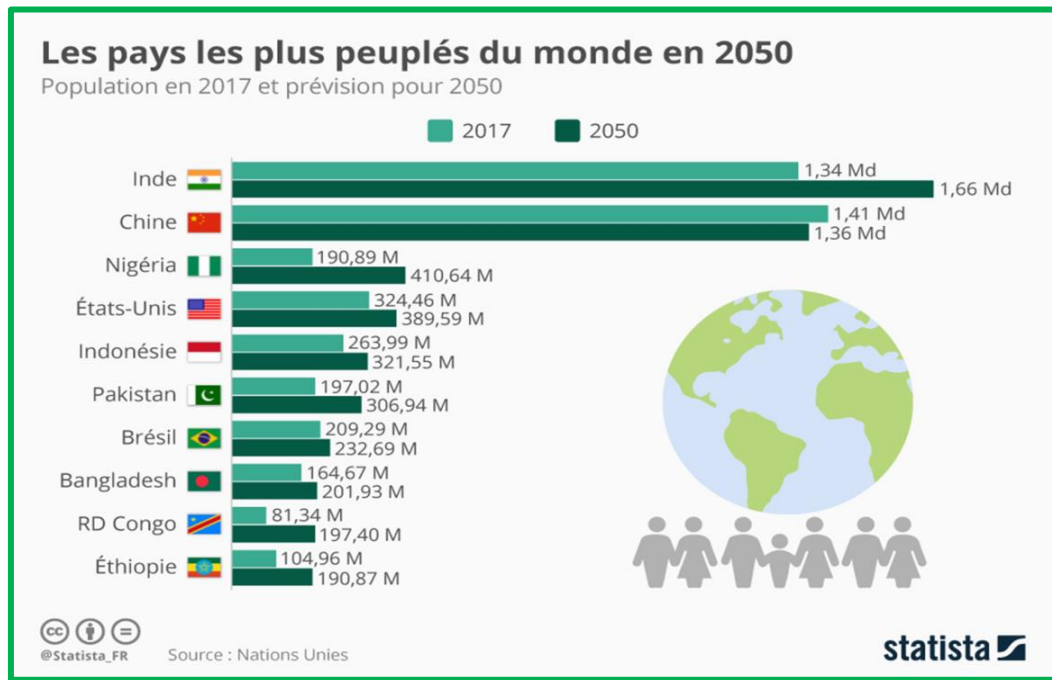


Figure 6 : Prévision de la croissance démographique en 2050 dans les pays les plus peuplés
(Réf : <https://fr.statista.com>)

Cette croissance démographique pèse sur les écosystèmes et les ressources naturelles en menaçant la sécurité d’approvisionnement en aliments, en énergie et en eau. En accentuant aussi la dégradation de la qualité de l’environnement. La production agricole ne parvient pas à suivre cette croissance, engendrant ainsi des problèmes de sous-nutrition et de malnutrition. Le développement durable est basé sur une idée fondamentale qui consiste à être conscient que les ressources de la planète ne sont pas illimitées, alors que la population ne cesse d’augmenter. En effet, réduire les naissances concerne en premier lieu les pays en développement. 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 et objectivement, que les problèmes écologiques proviennent essentiellement des modes de vie et de développement adoptés par les pays industrialisés. Par convention, tout dépend du projet social adopté (les choix prioritaires en matière de développement économique et social), c’est ainsi que la démographie conditionnera l’ampleur de l’impact des activités humaines sur la biosphère

2.1.2. Le réchauffement climatique

Le réchauffement climatique est dû aux émissions et à l’accumulation atmosphérique des gaz à effet de serre, rejetés par les diverses activités humaines : activités domestiques, industries, transports, agriculture... Ces gaz à effet de serre (GES) sont des composants

gazeux qui absorbent en partie le rayonnement infrarouge solaire réfracté par la surface terrestre et contribuant à l'effet de serre (Figure 7) :

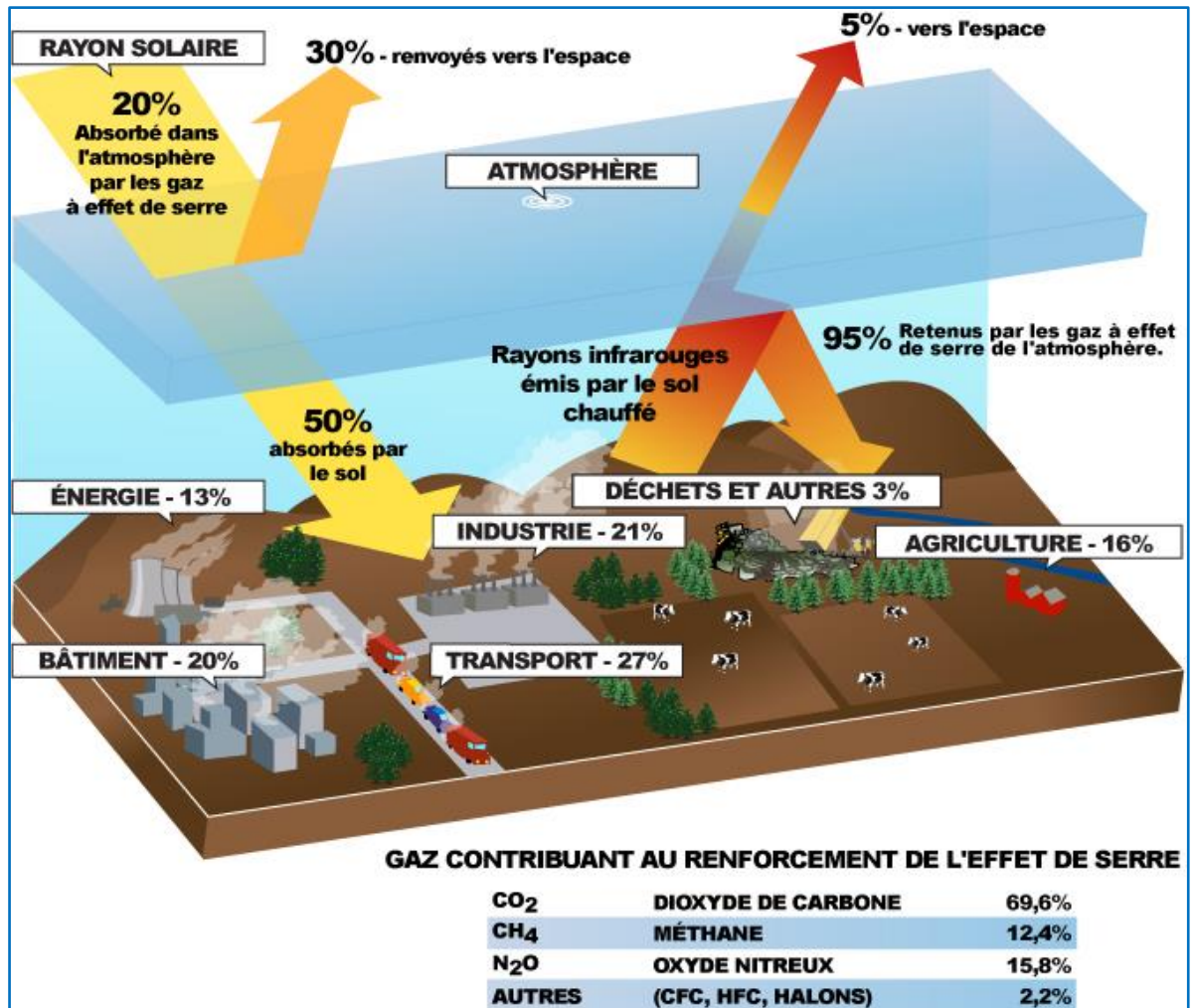


Figure 7: Les composants gazeux contribuant à l'effet de serre

(<http://www.shutterstock.com>)

Le Soleil qui émet en permanence un rayonnement (mélange de lumière visible, d'infrarouges et d'ultraviolets) se propage dans l'espace. Une partie de ce rayonnement solaire qui traverse l'atmosphère terrestre est absorbée par la surface de la Terre qui émet en retour un rayonnement infrarouge (chaleur) en direction de l'espace. Une autre partie du rayonnement solaire incident est directement réfractée par la planète, principalement par l'effet miroir des mers et océans. L'énergie globale qui se retrouve dans l'atmosphère est pour partie évacuée dans l'espace. Pour l'autre partie, elle est maintenue prisonnière par « l'effet de serre » exercé par les GES. C'est l'accumulation atmosphérique des GES, continue depuis l'apparition de l'industrie à la fin du 19^{ème} siècle, qui entraîne l'augmentation de la température moyenne de la planète, avec pour premières conséquences les désordres climatiques actuellement constatés.

L'effet de serre est un effet naturel, à l'origine, bénéfique à la vie humaine puisqu'il permet à l'eau de rester à l'état liquide et de maintenir la planète à une température moyenne de 18°C, alors qu'elle serait à -20°C sans effet de serre. Il s'agit de gaz contenus à l'état de trace dans l'atmosphère (vapeur d'eau, gaz carbonique CO₂, méthane CH₄, protoxyde d'azote N₂O, l'ozone O₃ et de gaz mineurs comme l'Hexachlorofluorocarbones HCFC, l'hexafluorure de soufre SF₆, et les Perfluorocarbures PFC).

L'augmentation de la concentration en Gaz à Effet de Serre (GES) dans l'atmosphère, par les activités humaines, conduit à accroître cet effet par un apport additionnel et continu de GES. Ce phénomène additionnel a pour conséquence l'actuel réchauffement global de la planète et les perturbations climatiques qui lui sont attribuées.

Le réchauffement climatique est responsable du phénomène de la hausse de la température moyenne globale de la planète. Au cours du 20^{ème} siècle, cette température a augmenté de 0,6°C en moyenne. Le réchauffement moyen pourrait atteindre de 1,4°C à 5,8°C de plus d'ici la fin du 21^{ème} siècle et il s'est considérablement accéléré ces cinquante dernières années.

Les perturbations climatiques projetées par le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, formé par l'ONU) pour l'Afrique déclarent une augmentation des zones arides et semi-arides de 5 à 8% d'ici 2080.

Depuis l'apparition de l'ère industrielle au 19^{ème} siècle, il y'a un accroissement continu des concentrations des GES, avec une accélération considérable ces cinquante dernières années.

Les GES se présentent sous les formes chimiques suivantes :

- Gaz carbonique (CO₂), issu principalement des combustions industrielles, domestiques et aux transports ;
- Méthane (CH₄), lié principalement aux pratiques agricoles : riziculture, élevage ;
- Protoxyde d'azote (N₂O) généré principalement aux pratiques agricoles.

Les émissions dans l'atmosphère de dioxyde de carbone (CO₂) et d'autres gaz à effet de serre ont connu un taux d'accroissement annuel de 3,5% (2000-2007) contre 0,9% (1990-1999). Sans ces gaz, la température terrestre moyenne serait de 30°C plus basse.

Selon le GIEC, il faudrait réduire les émissions directes de gaz à effet de serre (émises par les diverses activités anthropiques : industries, transports, déchets...) et indirectes (induites par l'activité : approvisionnement en matériaux entrant dans les fabrications de produits) dans les pays industrialisés d'au moins 25 à 40% d'ici 2030, par rapport aux niveaux de

1990, pour maintenir la hausse des températures mondiales en deçà de 2 degrés. Un seuil maximal considéré vital pour maintenir un impact climatique et environnemental relativement modéré.

Les pays qui émettent le plus de GES sont les pays riches et industrialisés comme les Etats-Unis et les pays européens. Désormais sont rejoints par la Chine et bientôt par d'autres pays à forte croissance économique et démographique, dont principalement l'Inde. Les pays en voie de développement sont encore loin d'égaliser les pays riches en ce qui concerne les émissions par habitant.

Les pays qui émettent actuellement le plus de CO₂ sont les Etats-Unis et la chine (Figure 8), alors que par habitant les Etats-Unis arrivent largement en tête. Les pays les plus gros pollueurs en chiffres absolus, sont la Chine, les États-Unis et l'Inde. Soit aussi les pays les plus peuplés au monde.

A l'échelle mondiale, le transport est le deuxième contributeur de GES, derrière la production d'énergie électrique. Mais l'énergie et les transports ne sont pas les seuls responsables du changement climatique. La seule, l'agriculture pèse pour 24 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre, avec pour plus gros pollueur le méthane rejeté par les ruminations du bétail bovin, caprin, ovin, camelin...

La déforestation crée aussi des déséquilibres et augmente l'effet de serre. Les arbres abattus, brûlés ou décomposés naturellement émettent du CO₂. Si les arbres ne sont pas replantés, il n'y aura rien pour absorber le carbone émis par les arbres coupés, ce qui augmentera les quantités de CO₂ atmosphérique.

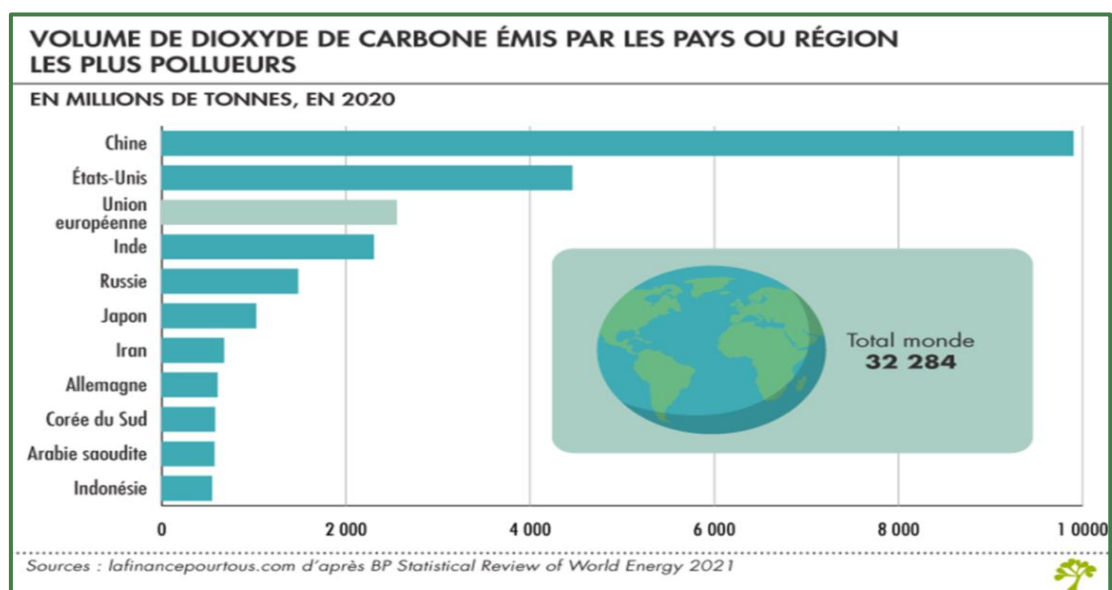


Figure 8 : Les émissions de CO₂ par pays à travers le monde en 2020

(Réf : <https://lafinancepourtous.com>)

Le réchauffement climatique se manifeste sous plusieurs formes, certaines déjà constatées et d'autres prévues dans les projections des nombreux rapports du GIEC :

- La fonte de 50% des glaciers, avec déjà la diminution considérable de la surface de la banquise polaire. Au point que le pôle nord est devenu navigable en été, soit une situation jusque-là jamais arrivée.
- L'augmentation moyenne de 65cm des niveaux marins entraînant des inondations et la disparition de certaines zones côtières. Dont plusieurs Archipels océaniques et déjà de vastes zones aux Bengladesh et dans d'autres pays.
- Le changement dans les débits des rivières et les niveaux des lacs et des nappes souterraines.
- Les événements météo contrastés et leur violence accrue : tempêtes et cyclones, canicules, sécheresses, inondation et crues...

Le réchauffement climatique entraîne un bouleversement de toute la biocénose de la terre, avec la disparition de nombreuses espèces terrestres. Il a un impact sur les forêts, sur les ressources de la mer, sur les animaux, sur les marais et sur le cycle de l'eau et sa répartition géographique et volumétrique.

- **Les arbres et les plantes**

Les sécheresses et les fortes pluies pourraient affecter la croissance des arbres et favoriser l'invasion d'insectes. La disparition d'une plante, qui est une source primaire de nourriture pour un herbivore, entraîne un impact de disponibilité nutritionnelle sur un grand nombre d'animaux et progressivement ensuite jusqu'à l'extinction d'espèce(s) qui en dépendait.

De même, les orages avec la fréquence des éclairs et des vents violents provoquent des feux de forêt. La fumée et les cendres engendrées par les incendies de forêt créent aussi des problèmes de santé (allergies, problèmes respiratoires...), alors que les chablis (parties de forêts dont les arbres ont été renversés, déracinés ou rompus sous l'effet du vent) représentent un danger de destruction de forêts entières.

- **Les ressources de la mer**

Le réchauffement climatique pourrait avoir une influence majeure sur la santé, la productivité et la répartition des poissons. Les espèces les plus préoccupantes en Atlantique sont la morue, le crabe des neiges, le saumon et le plancton.

Le réchauffement de l'eau, l'élévation du niveau de la mer, les variations de sa salinité et de son pH pourraient également changer la distribution des maladies marines, des parasites et au-delà changer la répartition des espèces. Les pluies abondantes, les vents et le réchauffement de l'eau pourraient aussi stimuler la croissance des algues, menaçant ainsi les populations de mollusques et de crustacés.

- **Les animaux**

De nouvelles espèces pourraient apparaître en raison du réchauffement et des modifications des régimes de précipitations (papillons, oiseaux) et d'autres disparaître s'il y a assèchement des cours d'eau ou s'il fait plus chaud, ce serait particulièrement le cas des amphibiens. Le réchauffement climatique entraîne la migration des animaux habitués à un climat particulier vers de nouvelles régions. Certaines espèces animales devront côtoyer de nouveaux prédateurs et les chaînes alimentaires des différents écosystèmes pourraient être bouleversées par la présence d'espèces exogènes migrant vers d'autres régions du globe.

- **Les marais**

Le réchauffement climatique va entraîner l'élévation du niveau de la mer et submerger des sections des marais, saliniser des marais d'eau douce et entraîner la perte d'habitats pour les oiseaux migrateurs. De même que les changements induits dans les régimes des précipitations vont diminuer la qualité de l'eau des marais, en modifiant les chaînes alimentaires et en augmentant les risques de prolifération des algues et d'eutrophisation des écosystèmes.

- **L'eau**

Le réchauffement climatique a un impact sur l'agriculture (moins d'eau pour l'irrigation), sur la pêche (disparition de certaines espèces) et sur la santé (augmentation des maladies causées par la contamination de l'eau). Les débits pourraient diminuer pendant la période estivale et augmenter durant l'hiver. De plus, les nappes souterraines pourraient s'assécher par leur surexploitation et l'eau se saliniser avec des intrusions d'eau salée.

2.1.3. Les énergies fossiles (énergies non renouvelables)

Depuis la révolution industrielle, les énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) sont des composantes essentielles du développement économique mondial : plus de 80% de la consommation mondiale d'énergie. Les énergies fossiles sont des énergies de stock présentant deux caractéristiques : elles sont non renouvelables et sources de pollution. Elles désignent l'énergie produite à partir de roches issues de la fossilisation accumulative

d'organismes vivants durant des millions d'années. Les sources fossiles sont des composés chimiques de nature organique. Leur combustion produit de l'énergie, résultant de l'oxydation totale de leurs chaînes carbonées en CO₂ qui se répand dans l'atmosphère et s'y accumule, avec ses conséquences polluantes et leurs effets climatiques et environnementaux. La conversion de cette énergie se fait par combustion thermique dans des chaudières, des fours, des moteurs, des turbines.

Au cours des 20^{ème} et 21^{ème} siècles, l'utilisation des énergies fossiles par certains pays a contribué à un grand développement industriel, à grande échelle dans de nombreuses régions du monde. Cependant, leur utilisation excessive pose des problèmes d'ordre sécuritaire (ruptures d'approvisionnement) et climatique (croissance des émissions de gaz à effets de serre) : c'est ce défi considérable que veut relever le "développement durable", par une alternative objective et concrète.

Après une exploitation excessive par l'Homme, ces énergies ont laissé leurs traces sous différentes formes dont le réchauffement climatique et la pollution des eaux, de l'air et du sol. Parmi les énergies fossiles, la part du pétrole dans le bilan global devrait reculer d'ici 2035, tandis que celle du gaz naturel et du charbon augmenterait. Ainsi, la consommation de charbon devrait rejoindre, et voire même dépasser celle du pétrole. Mais le charbon est aussi polluant que le pétrole, avec les mêmes impacts environnementaux et climatiques.

- **Le charbon**

C'est un combustible fossile de couleur noire ou brunâtre, similaire à une roche. Il a commencé à se former il y a plus de 350 millions d'années. A l'origine, le charbon est fait de résidus de végétaux en décomposition. C'est une matière organique végétale qui s'enfonce dans le sol par la pression de la boue et du sable. C'est un mélange de certains éléments comme le carbone, l'oxygène, l'hydrogène et le soufre. Transformé en combustible fossile sous l'action de la chaleur, il se retrouve sous la forme de gisements souterrains. Sa combustion est aisée et il est exploité à l'échelle industrielle et domestique depuis l'Antiquité. Mais la majorité du charbon est utilisé comme combustible thermique dans la production d'électricité, soit 40% de l'électricité mondiale. Les réserves mondiales de charbon sont localisées dans plus de 70 pays. De nombreux pays utilisent encore le charbon comme principale source énergétique, comme la Chine où près de 80% de l'électricité est produite à partir du charbon.

Les dix premiers pays possédant les plus grandes réserves de charbon en 2020 sont illustrés sur le tableau 1.

Tableau 1: Classement des 10 premières réserves de charbon (millions de tonnes)
(Oil-Total proved reserves, BP Statistical Review of World Energy)

Pays	Réserves de charbon en millions de tonnes	Pourcentage de la réserve mondiale
Etats-Unis	250 219	25,8%
Chine	160 364	15,5%
Russie	148819	12,5%
Australie	147 435	12,1%
Inde	101 363	12,0 %
Indonésie	37 000	3,5%
Allemagne	36 000	3,4%
Ukraine	36 130	3,3%
Pologne	34 375	2,5%
Kazakhstan	26 375	2,4%

Le charbon est le combustible fossile le plus polluant. Lors de l'extraction se dégagent plusieurs gaz: du soufre, de l'oxyde de soufre (responsables de pluies acides), du méthane et du dioxyde de carbone. Alors que les mineurs sont exposés au danger d'un gaz rapidement combustible et explosif, ils sont aussi confinés dans un milieu saturé de poussières mortelles et irrespirables, ainsi qu'à des accidents causés par les effondrements des galeries minières d'exploitation. L'activité minière perturbe gravement l'environnement et souvent les habitats de certains animaux. Depuis son extraction des mines, le charbon provoque des dégâts collatéraux majeurs, tels la déforestation et le bouleversement de la biodiversité, la pollution du sol par les eaux de drainage très toxiques des exploitations minières. Au rythme de sa consommation actuelle, le charbon devrait être épuisé d'ici à 132 ans.

- **Le pétrole**

Le pétrole est une source d'énergie incontournable. Elle est présente partout, en tant que combustible, carburant, et matière première recherchée pour l'industrie. L'usage du pétrole à des fins industrielles apparaît vers la fin du 18^{ème} siècle, pour réellement s'imposer au cours du 20^{ème} siècle avec l'essor de l'automobile et de la chimie de synthèse.

Le pétrole est formé de la fossilisation de forêts préhistoriques et de vie sous-marine. Il provient aussi de l'accumulation de bactéries et d'algues restées plus de 150 millions d'années dans les profondeurs de la terre, pour finalement se transformer en matières

organiques combustibles : les hydrocarbures. Les plantes et les animaux préhistoriques ont sédimentés dans des couches souterraines de vase et de sable, grâce aux bactéries et à la pression du sol ils ont été transformés en pétrole brut. Le pétrole s'est progressivement déposé dans des gisements souterrains et plus ou moins profonds de sable, sous les mers et océans ou dans des dépôts de roches sédimentaires. Les hautes températures qui règnent entre 2500 et 5000m de profondeur ont transformé les résidus organiques en pétrole liquide. À partir de 5000m, le pétrole se transforme en gaz. Pétrole et gaz remontent et suintent à la surface ce qui provoque les « mares » de pétroles.

Les hydrocarbures qui s'accumulent dans des failles où des plis peuvent créer des gisements exploitables. Ils couvrent 30 % des besoins énergétiques mondiaux. Après raffinage, le pétrole est utilisé pour la fabrication de dizaines de produits de toutes sortes :

- Carburants de moteurs thermiques : essences, gasoil, kérosène pour avions ;
- Produits de la pétrochimie, comme le plastique et ses dérivés ;
- Lubrifiants divers ;
- Cires diverses, qui sont des matériaux solides ou semi-solides produits à partir de résidus du pétrole et de son raffinage ;
- Asphalte, bitume, goudron, utilisés pour la construction de routes ;
- GPL (Gaz du Pétrole Liquéfié) qui est un carburant moins polluant que les carburants conventionnels, utilisé dans le domaine automobile ;
- Gaz légers qui servent comme combustibles dans le processus de raffinage du pétrole...

En termes de répartition, 48,3% des réserves mondiales de pétrole se situent au Moyen-Orient, 32,5% en Amérique, 7,2% en Afrique et 0,8% en Europe (hors Russie).

Les plus grosses réserves de pétrole en Afrique se trouvent en Libye, au Nigéria, en Algérie, en Angola, au Soudan, en Egypte, au Congo démocratique, en Ouganda, au Gabon et au Tchad.

Les principaux états producteurs de pétrole en 2022 par ordre d'importance sont : les Etats-Unis (18,5% de la production mondiale), l'Arabie-Saoudite (12,2%), la Russie (12,2%), le Canada (5,8%) et l'Irak (5,1%).

Les plus grandes réserves de pétrole prouvées en 2020 dans les dix 10 principaux pays dans le monde sont rapportées sur le tableau 2.

Tableau 2: Classement des 10 premières réserves mondiales de pétrole (milliards de barils)
(Oil-Total proved reserves, BP Statistical Review of World Energy)

Pays	Réserves de pétrole en milliards de barils	Pourcentage de la réserve mondiale
Venezuela	303,29	17,5%
Arabie Saoudite	297,67	17,2%
Canada	167,82	9,7%
Iran	155,60	9,0%
Irak	147,22	8,5%
Russie	106,22	6,1%
Koweït	101,50	5,9%
Émirats Arabes Unis	97,80	5,7%
Etats-Unis	61,23	3,5%
Libye	48,36	2,8%

L'Algérie est en 17^{ème} position dans le classement mondial des pays producteur de pétrole (1,5% de la production mondiale) et en en 4^{ème} position dans le classement Africain après le Nigeria, la Libye et l'Angola.

- **Le gaz naturel**

Le gaz naturel n'est que la partie la plus légère du pétrole, sous forme gazeuse. Il est aussi issu de la décomposition de la matière organique par des bactéries. C'est l'hydrocarbure le moins nocif pour l'environnement. Il émet moins de gaz à effet de serre et joue un rôle clé pour limiter le réchauffement climatique. Le gaz naturel est un mélange de gaz à forte prépondérance du méthane (jusqu'à 99% de CH₄), avec de l'éthane et du propane. Il contient aussi de l'azote, du dioxyde de carbone, du sulfure d'hydrogène et des composés oxygénés comme les phénols et les alcools.

Le gaz naturel peut être thermogénique quand il provient de la transformation des matières organiques ou biogénique lorsqu'il découle d'une fermentation de bactéries. Il se présente sous plusieurs formes :

- **Le gaz naturel classique** : Il peut se trouver dans de grandes fissures et autres espacements entre des couches de roches superposées de la Terre.
- **Le gaz naturel non conventionnel** : Il est aussi appelé gaz de schistes ou gaz de réservoir étanche. Ce gaz est présent dans des puits de schistes, de grès ou d'autres types de roches sédimentaires poreuses.
- **Le gaz naturel associé** : Ce type de gaz est présent dans les dépôts de pétrole brut, auquel il est naturellement mélangé.
- **Le gaz de charbon** : Il est également appelé méthane de houille ou encore gaz de couche, le gaz de charbon se trouve dans les dépôts de charbon.

La consommation du gaz naturel augmente car il se substitue de plus en plus au pétrole. Les produits dérivés du gaz naturel sont principalement l'hydrogène, l'hélium, le méthanol ainsi que certains composés soufrés. Le gaz naturel peut être liquéfié à très basse température. Il est ensuite transporté dans des pipes ou dans des bateaux méthaniers.

La consommation du gaz naturel émet 25% de dioxyde de carbone en moins que le pétrole et moitié moins que le charbon, à quantité égale. Il émet aussi très peu de particules fines, responsables d'importants troubles respiratoires chez l'homme.

L'extraction et le transport du gaz naturel présentent aussi peu de risques environnementaux. Dans les rares cas de fuite des réseaux, le gaz naturel n'entraîne pas de risque de marée noire ou de contamination des sols. Il s'échappe directement dans l'air, ce qui a alors un impact négatif sur le réchauffement de la planète.

Aujourd'hui, le gaz et le pétrole sont au centre de toutes les activités industrielles et commerciales mondiales. Au rythme de sa consommation actuelle, les réserves de gaz naturel couvriraient encore 70 années des besoins mondiaux. Cependant son rythme d'exploitation augure une crise très proche car ses sources sont non renouvelables. Il faudra alors prévoir l'élaboration et l'utilisation de nouvelles sources d'énergie.

En termes de répartition, l'Amérique du nord regroupe 27,2% de la production mondiale de gaz naturel (Gaz de schistes), le Moyen-Orient 17,8%, l'Europe (à l'exclusion de la Russie) 6,5% et l'Afrique 6,1%. L'Algérie s'est classée au 10^{ème} rang mondial avec 2,5% de la production mondiale et au 1^{er} rang en Afrique en 2021.

Globalement et en partant du postulat que la consommation restera constante, les réserves actuellement connues de charbon s'épuiseront dans environ 132 ans contre 50 ans pour les réserves de pétrole et 51 ans pour les réserves de gaz naturel.

Les dix principaux états producteurs de gaz naturel dans le monde en 2022 sont mentionnés par le tableau 3, exposé ci-dessous.

Tableau 3 : Classement des 10 premières réserves de gaz naturel dans le monde en 2022

(Réf : <https://www.mes-finances.be>)

Pays	Réserves de gaz naturel en mètres cubes	Pourcentage de la réserve mondiale
Russie	47,805 milliards	24,3%
Iran	33,721 milliards	17,3%
Qatar	24,072 milliards	12,5%
États-Unis	15,484 milliards	5,3%
Arabie Saoudite	9,200 milliards	4,2%
Turkménistan	7,504 milliards	3,8%
Émirats Arabes Unis	6,091 milliards	3,1%
Venezuela	5,740 milliards	2,8%
Nigeria	5,475 milliards	2,6%
Chine	5,440 milliards	2,4%

- **L'énergie nucléaire**

L'énergie nucléaire est produite par la fission d'éléments radioactifs naturels comme l'uranium et le thorium. L'uranium peut être soumis à la fission dès son extraction à l'état naturel, tandis que le thorium doit d'abord être converti dans un réacteur nucléaire. Tous les isotopes de ces éléments sont radioactifs.

L'uranium contient 99,7% d'uranium 238(U^{238}), 0,72% de U^{235} et 0,005% de U^{234} . L'uranium brut, existe sous forme d'oxyde d'uranium qui est purifié. Il est estimé qu'une tonne d'uranium brut donne de 1 à 2kg d'uranium pur. Le reste est constitué de radon et d'autres produits qui doivent être traités en tant que déchets nucléaires.

La dénomination de combustible nucléaire est en réalité impropre, puisque l'énergie produite dans un réacteur nucléaire ne provient pas d'une réaction de combustion. En effet,

la source d'énergie utilisée est le phénomène de fission nucléaire qui génère une réaction atomique en chaîne.

Les noyaux fissibles les plus importants sont l'uranium 235, présent dans l'uranium naturel, et les deux noyaux artificiels de transition que sont l'uranium 233 et le plutonium 239. Une fois dans un réacteur, il subit une fission qui le transforme en plutonium. Ce dernier est redirigé vers le réacteur après conversion.

A la fin du cycle de vie de l'uranium, il devient un déchet radioactif, pour des milliers d'années. Les déchets nucléaires sont stockés de manière permanente dans des structures au long cours, hautement spécialisées et sécurisées.

Le cycle du combustible comprend donc essentiellement les opérations suivantes :

- la production du concentré,
- la conversion chimique et la purification,
- l'enrichissement isotopique,
- la fabrication du combustible,
- l'irradiation en réacteur,
- le retraitement,
- la gestion des déchets.

Il est à noter que les délais associés aux diverses étapes sont très importants et que le cycle complet du combustible dure plus de 7 ans.

L'Uranium est utilisé dans plusieurs domaines : 99,8% du total est utilisé en tant que source d'énergie dans les centrales nucléaires pour produire de l'électricité et comme énergie de propulsion des sous-marins et des portes avions-avions nucléaires. Alors que 0,2% sont utilisés en médecine, en armements atomiques et en chimie.

Les réserves de thorium sont quatre fois plus importantes que celles de l'uranium. L'énergie nucléaire est très intéressante du point de vue de son rendement important. Cependant, elle est très contraignante vu les mesures de sécurité draconienne qui doivent être prises à tous les niveaux, de la mine jusqu'à la gestion des déchets, en passant par l'exploitation.

Les pays qui possèdent les plus grandes réserves d'uranium sont, par ordre d'importance : l'Australie, les Etats Unis, la Russie, le Canada, l'Afrique du Sud et le Nigéria.

Les pays qui possèdent les plus grandes réserves de thorium sont, par ordre d'importance : l'Inde, le Brésil et les Etats Unis.

Le tableau 4 montre les types d'accidents nucléaires qui sont survenus dans le monde.

Tableau 4 : Echelle internationale des incidents nucléaires

(Réf: International Atomic Energy Agency)

Définition du Niveau	Impact sur l'environnement du site	Impact sur le site	Exemples
7 : Accident majeur	Propagation majeure: Effets très importants sur la santé et l'environnement	Majeur	Tchernobyl, URSS, 1986 Fukushima, Japon, 2011
6 : Accident sérieux	Propagation significative: Application complète des plans d'urgence	Majeur	
5 : Accident comportant des risques pour l'environnement du site	Propagation limitée: Application partielle du plan d'urgence	Sérieux endommagement du cœur du réacteur	Windscale, Royaume Uni, 1957 (militaire); Three Mile Island, Etats Unis, 1979
4 : Accident au sein de l'installation	Propagation mineure: Exposition des personnes de l'ordre de la limite du danger	Endommagement partiel du cœur du réacteur, conséquences sur la santé du personnel	Saint-Laurent, France, 1980 (panne de combustible) Tokai-Mura, Japon 1999 (critique)
3 : Incident sérieux	Très faible propagation: Exposition des personnes au-dessous des limites de sécurité	Contamination majeure, exposition au-dessus de la limite du personnel	Vandellos, Espagne, 1989 (Incendie de turbine, pas de contamination radioactive)
2 : Incident	Nul	Nul	
1 : Anomalie	Nul	Nul	
0 : Minimum de l'échelle	Nul	Nul	

2.1.4. Epuisement des ressources naturelles

Des étendues forestières qui se réduisent à vue d'œil, aux océans qui se vident de leurs poissons et aux réserves pétrolières qui diminuent, les ressources naturelles de la planète sont mises à mal. A force d'exploitation irraisonnée, ces richesses offertes par la nature sont en état d'épuisement. Cette situation est due à une surconsommation humaine.

En tant que ressources naturelles aux réserves limitées, elles ne sont pas produites par l'homme. C'est le cas de toutes les composantes de la biodiversité, les ressources végétales et animales mais aussi des minerais et des autres matières premières.

Les ressources naturelles existent en deux catégories : les ressources non renouvelables (ressources finies) et les ressources renouvelables.

Les premières existent en quantités finies, elles ne se renouvellent pas et finiront par s'épuiser lorsqu'elles seront consommées en totalité. Leur principale particularité est d'être aujourd'hui disponible en quantité couvrant les besoins. La nature peut néanmoins recréer ces ressources naturelles non renouvelables, mais elle a besoin de période estimée en milliers d'années et parfois même plutôt en millions pour y parvenir, comme c'est le cas des hydrocarbures. Les exemples les plus courants de ressources non renouvelables sont les combustibles fossiles et les gisements de minéraux.

Les ressources naturelles de la deuxième catégorie se renouvellent d'elles-mêmes et elles sont illimitées. Ce type de ressources peut être consommé sans être épuisées car elles peuvent se régénérer en permanence. Elles sont reconstituées en continu mais leur exploitation doit être effectuée de manière raisonnée, car il est tout à fait possible d'épuiser ce groupe de ressources en dépit de leur régénération. L'eau, les terres arables ou les poissons sont par exemple des ressources renouvelables dont les réserves peuvent s'épuiser ou subir d'importantes altérations, si leur exploitation vient à excéder le rythme naturel de leur renouvellement. Elles peuvent être définies comme potentiellement renouvelables si elles ne sont pas consommées et exploitées de manière responsable (Figure 9).

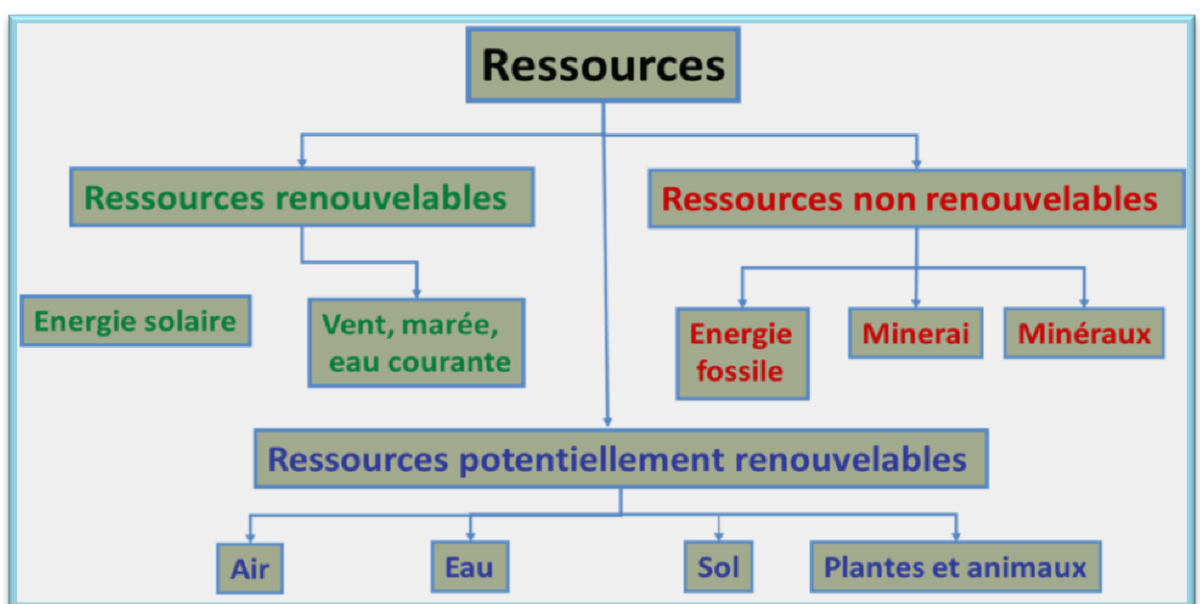


Figure 9 : Illustration sur les catégories de ressources naturelles.

Certaines activités telles, que la déforestation ou la pollution de l'eau potable, rendent possible l'épuisement de ressources potentiellement renouvelables. C'est notamment le cas de l'air, de l'eau, des sols (terres cultivables) ou encore des ressources biologiques de la flore et de la faune (forêts, pâturages, pêcheries maritimes, biodiversité, dont les espèces animales et végétales) et des ressources génétiques (variétés de plantes cultivées et de races d'animaux domestiques). Il convient de noter que les ressources renouvelables peuvent aussi être épuisables et disparaître si elles sont surexploitées :

- **Le poisson** est un exemple de ressource renouvelable qui pourrait être en déclin. Le risque d'épuisement des ressources halieutiques se manifeste sous la forme d'effondrements des pêcheries : risque majeur de réduction des stocks de poissons et de destruction par effet indirect de l'écosystème marin. Selon le rapport de la FAO (l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture), 90 % des stocks de poissons sont actuellement surexploités. C'est trois fois plus qu'il y a 40 ans. Selon les statistiques de l'Organisation des Nations Unies, la production mondiale totale de la pêche est passée de 20 millions de tonnes en 1950 à presque 100 millions en 2004 et 150 millions de tonnes en 2014, soit une augmentation de 70%. Le rapport de la FAO souligne aussi la situation alarmante qui prévaut en mer Méditerranée et en mer Noire, où 59 % des stocks évalués ont été pêchés à des niveaux biologiquement non viables. Y compris dans des zones très profondes, parfois à plus de 400 m de profondeur (Figure 10).

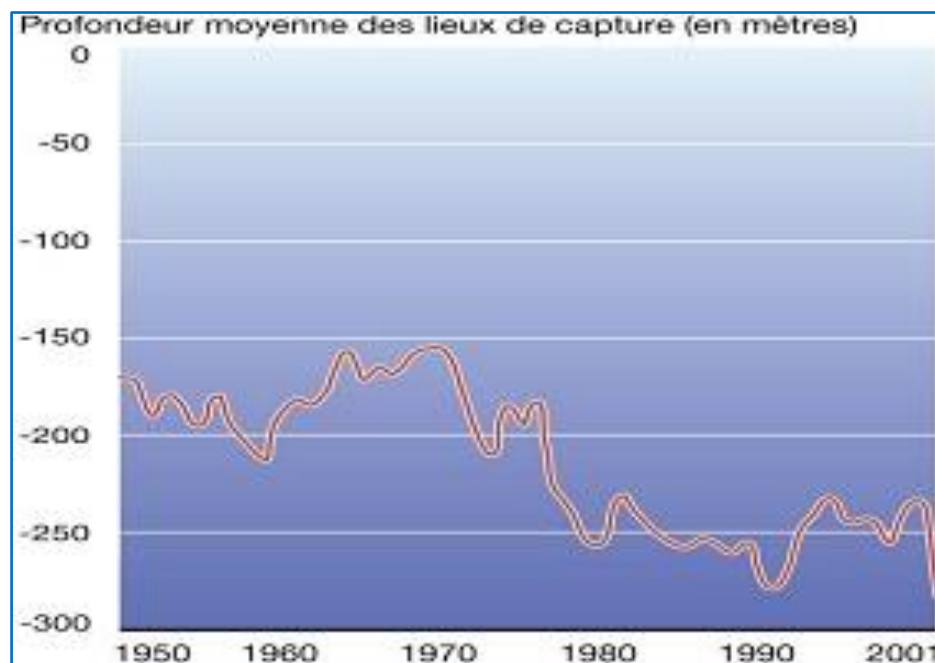


Figure 10 : Profondeur moyenne des lieux de capture des poissons

(Réf : <https://www.fao.org>)

Le Programme des Nations unies pour l'environnement a ainsi déclaré en 2010 que les océans seront complètement vidés de leurs ressources halieutiques d'ici 2050. Preuve de l'hécatombe en cours, où pas moins de 90% des gros poissons ont disparu entre 1950 et 2010. On peut citer en exemple la morue, dont les stocks sont réduits de 99% dans les eaux canadiennes jadis extrêmement poissonneuses. De même que la pêche illégale, donc non recensée, représente une exploitation de pas moins de 26 millions de tonnes de poisson par an. Soit plus de 15% de capture de poissons non désirés et le plus souvent rejetés morts dans la mer. Ce taux peut grimper jusqu'à 40% lors du recours à des techniques destructrices comme le chalutage de fond (Figure 11).

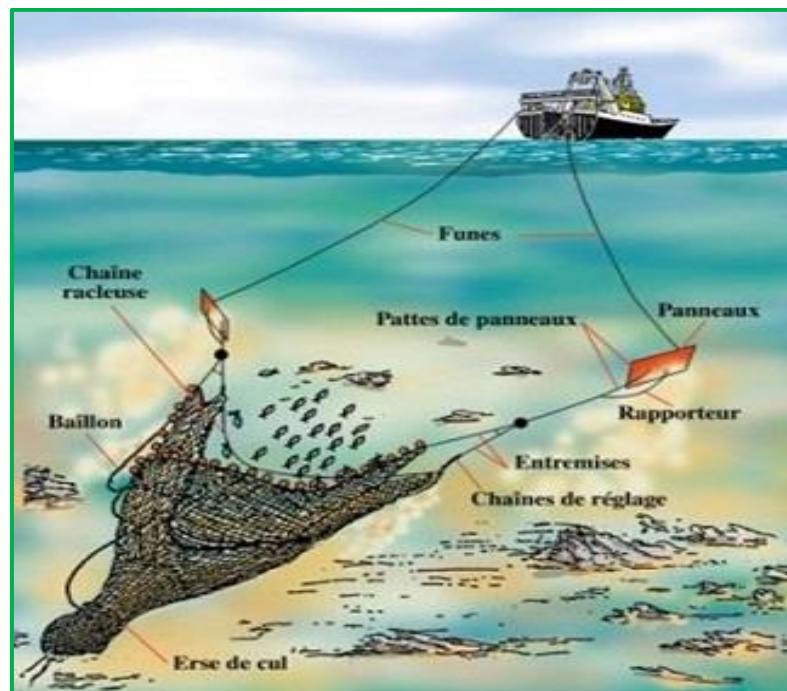


Figure 11 : Le chalutage de fond

(Réf : <https://peche.ifremer.fr>)

Le chalutage de fond capture simultanément plusieurs espèces de poissons de dimensions et de morphologies différentes puis détériore les habitats ainsi que les organismes de fond de mer. C'est une pratique de pêche dévastatrice et non viable à long terme.

- **Les minerais** sont un second exemple de ressource en voie d'épuisement. Selon un rapport du PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement), 9 milliards d'êtres humains consommeront 140 milliards de tonnes de minerais, d'hydrocarbures et de biomasse (bois, cultures, élevage) d'ici 2050. L'épuisement des ressources minières signifie que l'exploitation du matériau en question à l'échelle industrielle n'est plus possible. Les estimations de l'épuisement des ressources minières et matières premières varient au fil du

temps, en fonction des réévaluations de réserves. Il est estimé, à titre d'exemple, que les gisements exploitables de l'or, de l'indium et du zinc seront épuisés en 2025 et ceux du charbon en 2158 (Figure 12).

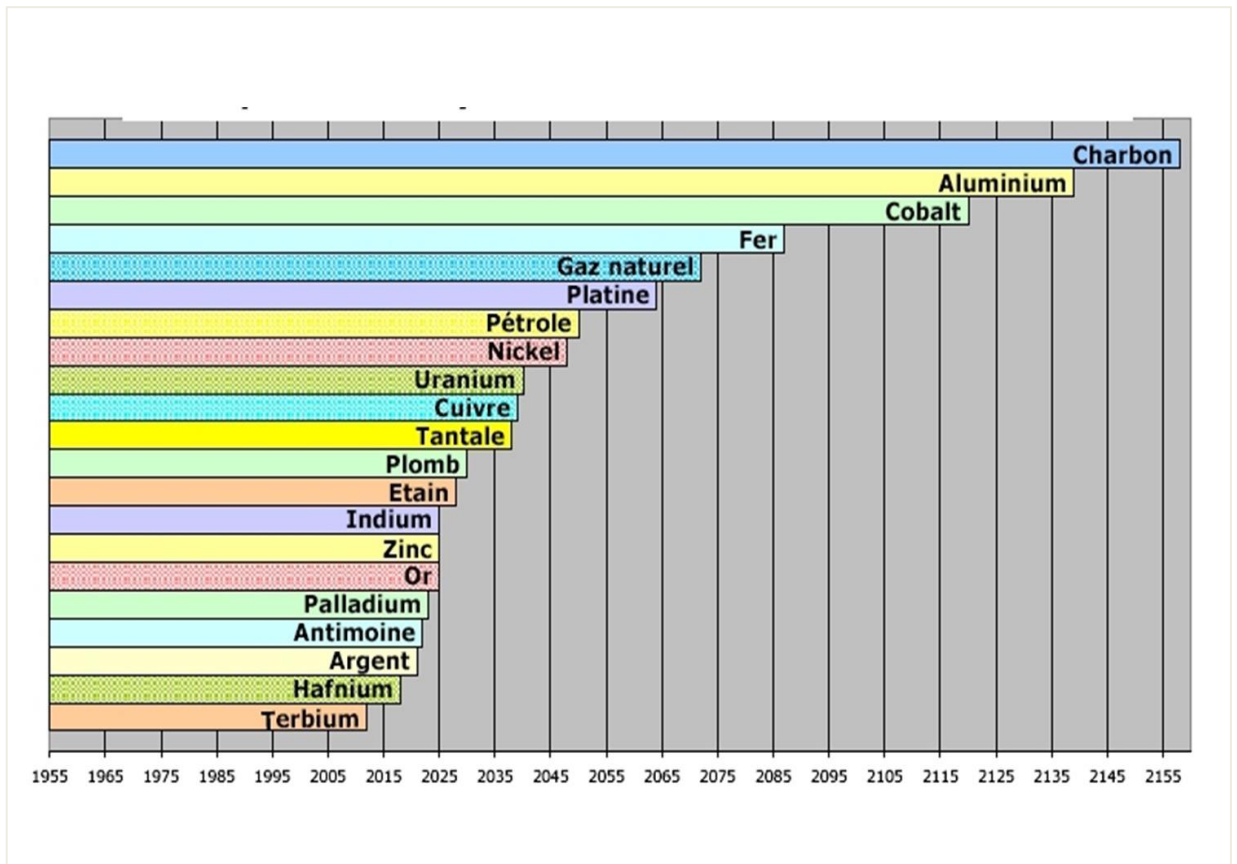


Figure 12 : Dates d'épuisement des richesses exploitables de la planète

(Réf : <http://terresacree.org/ressources.htm>)

Soit 16 tonnes de ressources naturelles sont englouties par habitant et par an. Au sein des pays riches, les écarts sont impressionnants. Un consommateur du Qatar, d'Australie ou des États-Unis engloutit 40 tonnes de ressources naturelles par an. Même si les pays industrialisés et ceux en voie de développement parvenaient à diviser par deux leur consommation en matières premières (8 tonnes par habitant) d'ici 2050, le total s'élèverait quand même à 70 milliards de tonnes, soit 40% de plus qu'aujourd'hui.

- Les ressources naturelles renouvelables comprennent également les réserves **d'eau douce**. Depuis le début du 20^{ème} siècle, la consommation d'eau douce a été multipliée par sept sur la planète. Au cours des trente dernières années, les quantités d'eau disponibles sont passées d'une moyenne de 12 900 m³ à 6800 m³ par habitant et par an. Il est estimé également que l'exploitation des réserves souterraines non renouvelables d'eau ont été multipliées par 3 en 40 ans et représentent encore et à ce jour 20% de l'eau d'irrigation mondiale. Aujourd'hui, près de 4 millions de personnes font ainsi face à une grave pénurie d'eau, au moins un mois

par an selon l'Organisation des Nations Unies, ce qui illustre la rareté des ressources naturelles en raison de la hausse considérable et croissante de la demande.

- **Les sols** ou les terres cultivables, subissent aussi ce phénomène, à l'exemple des ressources naturelles renouvelables potentiellement épuisables. Ainsi, les terres cultivables sont soumises à une érosion intense, avec pour conséquence une menace sur l'agriculture mondiale. Dans certaines régions, les sols sont lessivés 100 fois plus vite qu'ils ne se régénèrent. Il est estimé qu'un tiers environ de la superficie des terres, soit environ 4 milliards d'hectares, sont menacés de désertification dont 600 millions d'hectares sont déjà en voie de l'être dans le monde. La dégradation des sols et la désertification apparaissant en raison des phénomènes climatiques extrêmes comme la sécheresse, combinés aux activités humaines comme la surexploitation agricole, le surpâturage ou la pollution des terres.

Ainsi, près de 5 milliards d'hectares de terres sont fortement dégradés, ce qui correspond à 70 % des zones sèches de la Terre, d'après l'UNESCO (Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture). Au total, c'est l'équivalent de la surface agricole des États-Unis qui aurait été perdue, en 20 ans environ. Alors que près de 27 000 km² de sols sont perdus chaque année du fait d'une mauvaise gestion des sols. Environ 24 milliards de tonnes de sols fertiles disparaissent chaque année et 41% des terres de la planète sont constitués de zones arides ou semi-arides. Dans son Atlas Mondial de la Désertification, la Commission européenne estime que l'homme dégrade chaque année 4,18 millions de km² de sols. Cette situation est due à la surexploitation des terres, à travers la déforestation ou l'agriculture et l'élevage non durables. Elle pourrait entraîner en 2050 une diminution des rendements agricoles d'environ 10% au niveau mondial.

L'épuisement des ressources naturelles est en grande partie dû à la surexploitation des richesses naturelles. Leur surexploitation continue mène à la destruction des habitats terrestres et marins, conduisant ainsi à l'extinction d'espèces animales et végétales. Cette surexploitation est principalement due à un prélèvement excessif des ressources, réalisé par l'homme, une situation qui s'explique par plusieurs facteurs dont :

- **Des besoins toujours grandissants** : L'accélération de l'augmentation de la population mondiale est accompagnée de nombreuses nécessités, comme celle de couvrir en nourriture, en matériaux et en énergie un monde en pleine explosion démographique.

- **Une surconsommation peu respectueuse des écosystèmes** : La surconsommation est une autre cause de la surexploitation des ressources naturelles. Même si les mentalités commencent à changer sur ce point, les consommateurs sont encore nombreux à utiliser à

mauvais escient des produits comme les hydrocarbures, les produits jetables et non recyclables qui entraînent un gaspillage considérable de ressources naturelles.

L'épuisement des ressources naturelles concerne les trois dimensions de la durabilité: la justice sociale, la santé environnementale et le développement économique. L'exploitation durable des ressources naturelles vise l'équilibre entre ces dimensions : maintenir l'exploitation à long terme des ressources, tout en maximisant les avantages sociaux et en minimisant les impacts environnementaux.

2.1.5. L'eau potable

L'eau recouvre les trois quarts de la surface de la Terre. Les ressources en eau de la planète sont essentiellement de l'eau salée, l'eau douce ne représentant que 2,5% du total. Environ 70% de l'eau douce terrestre se trouve à l'état immobilisé, de glace dans les calottes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland, donc inaccessible et près de 20% est enfouie très profondément sous terre. L'eau accessible aux besoins humains se trouve dans des réservoirs accessibles : lacs, rivières, nappes phréatiques.... Les réserves mondiales d'eau potable sont limitées et diminuent rapidement du fait de leur utilisation et de leur transformation en eaux usées, ce qui constitue une grave menace pour la santé publique, la stabilité politique des états et l'environnement.

En raison du réchauffement climatique et de la surexploitation des réserves naturelles, l'eau douce devient une ressource de plus en plus rare. Près d'un tiers des grands bassins d'eau douce souterrains sont en effet en situation d'épuisement. Des études démontrent que 13 des 73 plus grandes réserves aquifères terrestres sont actuellement en voie d'assèchement. Par ailleurs, il est estimé que 8 de ces bassins sont enclins à un stress majeur. Les pluies et les rivières n'arrivent pas à compenser l'eau prélevée pour la consommation humaine, et les 5 autres bassins aquifères se rapprochent dangereusement d'une situation similaire. Parmi les sources d'eau douces accessibles sur Terre, les bassins d'eau souterraine sont donc les plus impactés par la baisse des réserves. La lente et constante diminution des réserves en eau concerne de nombreuses zones du globe, allant de la Californie sur le continent nord-américain à l'Indus, dans la partie septentrionale de l'Inde et du Pakistan. Le bassin d'Arabie est également concerné, alors qu'il alimente près de 60 millions de personnes. L'épuisement de cette ressource reste un problème majeur dont les conséquences peuvent être lourdes.

Cette ressource étant inégalement répartie dans les différentes régions de la planète, certaines populations ont difficilement accès à l'eau potable. La consommation d'eau est de 150 litre par jour en moyenne dans les pays développés, 300 litres aux États-Unis et de

30 litre par jour pour les africains. L'approvisionnement en eau par habitant est beaucoup plus important dans des pays comme le Canada, la Russie et le Brésil qu'au Moyen-Orient et dans de grandes parties de l'Afrique. Par exemple, au Canada, il est de 87000 m³ par personne et par an, ce qui est environ neuf fois plus qu'aux Etats-Unis (9800 m³ par an), où il est pourtant presque quatorze fois plus élevé qu'en Egypte (700 m³ par personne et par an). En Egypte, l'approvisionnement en eau est environ sept fois plus important qu'en Arabie saoudite, où les ressources sont de seulement 95m³ par personne et par an (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, base de données AQUASTAT). Selon les estimations de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) et de l'UNICEF (Fonds des Nations Unies pour l'Enfance), environ 2,1 milliards sur les 8 milliards d'habitants de la planète ont un accès insuffisant et difficile à l'eau potable. Plus d'une personne sur six aujourd'hui n'a pas accès à l'eau potable et en 2030 ce problème touchera la moitié de la population mondiale.

La consommation d'eau douce est actuellement principalement destinée à l'agriculture qui est le secteur d'activité le plus consommateur d'eau. Dans le monde, 70% de l'eau potable est utilisée pour l'irrigation, dont 60% est gaspillée.

Les scientifiques ont fait une estimation du volume d'eau utilisé pour la production de nombreux produits alimentaires consommés au quotidien, par exemple : une tonne de céréales nécessite en moyenne 1000 tonnes d'eau et produire de la viande nécessite plus d'eau encore (Figure 13).

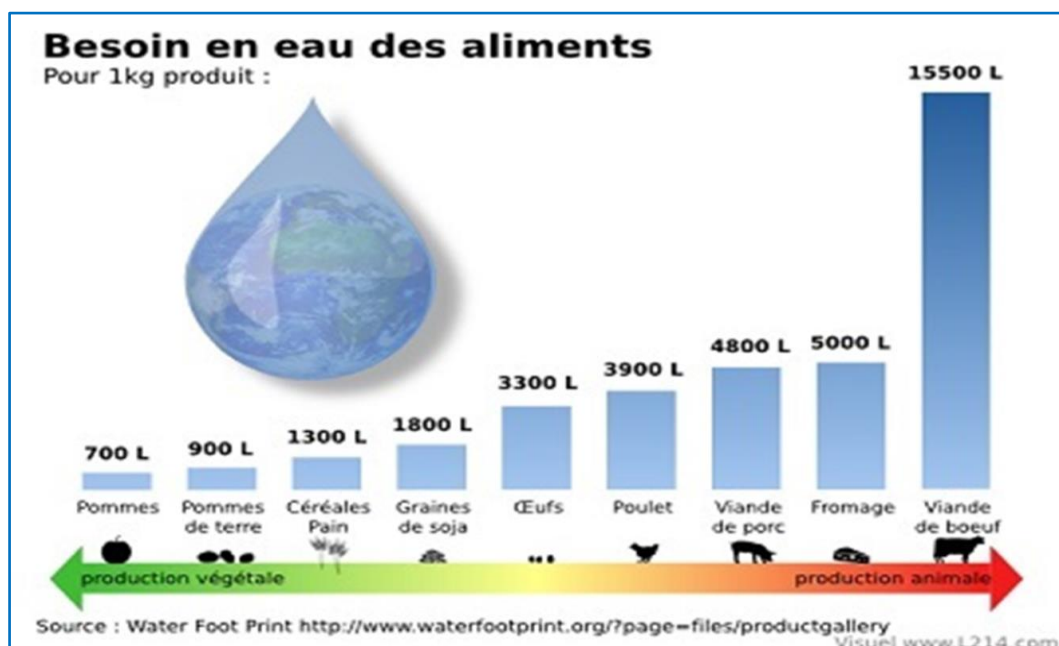


Figure 13 : Besoin en eau des aliments pour un kg de produits alimentaires

(Réf : <http://www.waterfootprint.org>)

En 50 ans, la part de terres irriguées a augmenté de 117%, notamment car dans de nombreuses zones (Moyen-Orient, pourtour méditerranéen...), les pluies ne sont plus suffisantes pour les cultures. Il devient, dès lors, nécessaire de puiser dans les ressources pour irriguer les terres agricoles. De leur côté, les industriels consomment 22% de l'eau douce de la planète (y compris la part consacrée à la production d'électricité hydraulique et nucléaire), alors que 8% de l'eau est destinée à l'usage domestique (Figure 14).

Plusieurs pays souffrent de la sécheresse, ainsi 2,6 Milliards d'habitants sont en manque d'eau potable, alors que des milliers de personnes meurent chaque année de maladies à transmission hydrique (MTH). Par ailleurs, la FAO (Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture) a averti dans divers rapports des effets polluants des insecticides et des fertilisants qui endommagent les réserves d'eau de surface et les eaux souterraines.

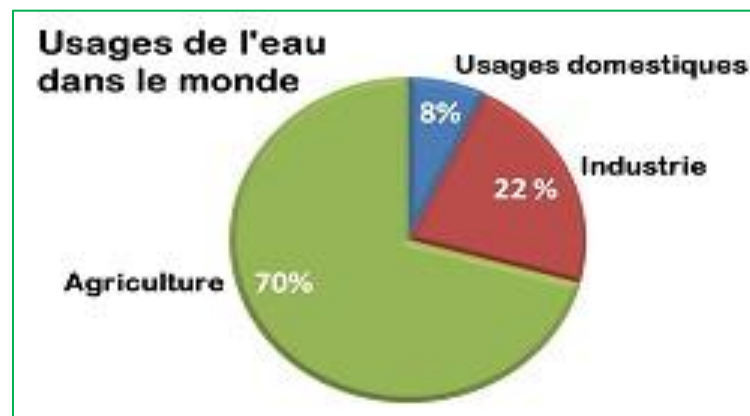


Figure 14 : Usage de l'eau dans le monde

(Réf : <https://apropos.erudit.org/fr/usagers>)

L'Algérie souffre également de la pénurie d'eau. Les précipitations sont caractérisées par des irrégularités saisonnières et interannuelles importantes, avec des crues violentes et rapides.

En effet, les réserves d'eau souterraines qui alimentent des milliards d'habitants en eau potable se renouvellent plus lentement qu'elles ne sont exploitées. Au quotidien, la population mondiale augmente, les besoins en eau aussi. Or les nappes phréatiques prennent 50 ans en moyenne pour se renouveler, ce qui représente une menace sérieuse à la viabilité et à la durabilité de l'écosystème.

2.1.6. La biodiversité

Actuellement, la perte de biodiversité et les changements dans l'environnement, qui sont liés, sont plus rapides qu'à aucune période de l'histoire de l'humanité. Des études récentes

estiment que nous vivons actuellement une nouvelle crise biologique, au vu du nombre d'espèces aujourd'hui menacées ou déjà disparues. Mais cette crise est surprenante par sa cause, historiquement unique : l'activité humaine. La rapidité du phénomène est tout aussi surprenante : le rythme de disparition des espèces est 100 à 1000 fois plus élevé que le rythme naturel. Selon l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) sur près de 150 000 espèces animales et végétales étudiées en 2022, plus de 41000 espèces sont considérées en danger et menacées d'extinction. En 50 ans, près de 70% des animaux vertébrés ont disparu. L'édition 2022 du rapport de référence du WWF (Fonds Mondial pour la Nature), « Planète Vivante », estime que les populations de poissons, de mammifères ou encore d'oiseaux ont diminué de 69% entre 1970 et 2018. Depuis 1970, 80% des gorilles des plaines orientales, 86% des éléphants de forêts africaines et 71% des requins océaniques ont disparu. De même, les populations animales d'eau douce sont plus durement touchées, avec une baisse moyenne de 83% de leurs effectifs en raison de la pollution de leur milieu ou des obstacles à leur migration. De nombreuses populations animales et végétales sont en déclin, que ce soit en termes de nombre d'individus, d'étendue géographique, ou des deux. Il est estimé que 25% des conifères, des stocks de poissons et de récifs coralliens sont en voies d'extinction (Figure 15). La disparition d'espèces fait partie du cours naturel de l'histoire de la Terre.

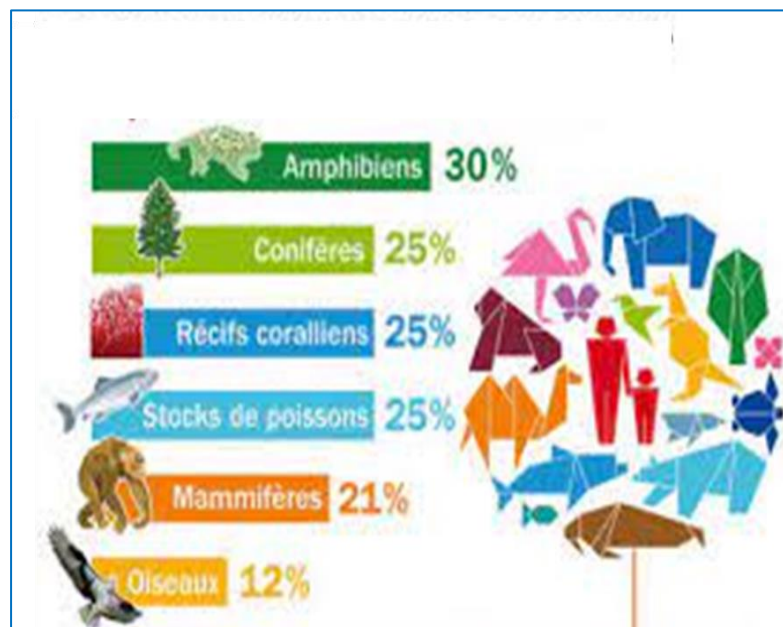


Figure 15 : Les espèces menacées d'extinction

(Réf : <https://www.iasef.fr>)

Les causes sont encore et toujours les mêmes, à commencer par le changement d'usage des terres, à savoir la destruction pure et simple des habitats des animaux au profit de

l'agriculture et de l'industrie. Viennent ensuite la surexploitation, notamment des poissons, le braconnage et le changement climatique, dont le rôle dans la disparition des espèces animales ne cesse de s'accroître.

La perte de la biodiversité touche les trois niveaux de la diversité : diversité des écosystèmes, diversité des espèces et la diversité génétique. Les cinq causes majeures de la perte de biodiversité sont :

- La destruction, la perte et la fragmentation de l'habitat,
- L'introduction d'espèces invasives ou invasion biologique,
- La surexploitation des ressources,
- La pollution par l'utilisation excessive de pesticides et d'herbicides en agriculture,
- Le dérèglement climatique.

• **La fragmentation des habitats**

Elle constitue la principale cause de perte de biodiversité dans le monde. La fragmentation se manifeste lorsqu'un écosystème de large étendue est transformé par l'action humaine en de nombreux fragments, de taille réduite, isolés spatialement (Figure 16). Elle consiste en la division du paysage (bois, plaines, forêts...) en lieux plus petits et isolés, séparés par des paysages transformés par l'homme (champs agricoles, villes, routes...). Ce phénomène s'oppose aux besoins vitaux qu'ont la flore et la faune de se déplacer, il est complètement corrélé à la perte des habitats.

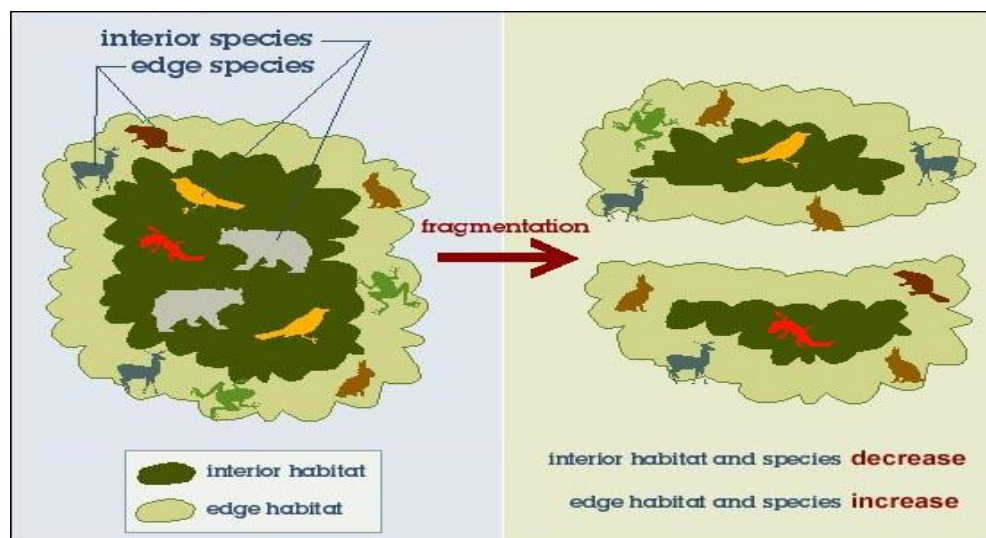


Figure 16: Fragmentation des habitats

(Réf : <https://www.tela-botanica.org>)

- **Les invasions biologiques**

Les invasions biologiques correspondent à l'expansion d'une espèce hors de son aire de répartition naturelle, en constituant une ou des populations pérennes et autonomes. Cette situation affecte les îles et les continents. Les invasions biologiques représenteraient la deuxième cause de la perte de la biodiversité. Leurs effets s'exercent en cascade par plusieurs aspects majeurs, sur les chaînes trophiques, sur les écosystèmes, sur les espèces autochtones (espèces natives, espèces indigènes, vivant à l'intérieur de leur aire de répartition naturelle). L'espèce invasive est une espèce exogène introduite par l'homme. En générale, elle s'étend en dehors de son aire native, se reproduit en bouleversant son nouvel environnement. Elle a aussi et souvent une très forte capacité de dispersion, d'adaptation, de prédation et de compétition. A l'exemple, les tortues de Floride, quand elles deviennent trop grandes et sont relâchées dans la nature elles concurrencent fortement les espèces natives en Europe, comme la tortue cistude.

Le changement climatique favorise les invasions biologiques des espèces. Les événements extrêmes, comme les inondations et les ouragans, déplacent des espèces dans de nouveaux territoires, par exemple : le frelon asiatique introduit en 2004 dans le sud de la France, a continué son invasion vers le nord jusqu'aux latitudes où le climat est devenu une barrière à son extension géographique.

Face au changement climatique, les plantes ont des réponses différentes, grâce à l'augmentation des concentrations de CO₂ dans l'air qui pourrait accélérer leur croissance. Ainsi à Tahiti, Miconia, une plante que l'on appelle aussi le «cancer vert», a envahi près des deux tiers de l'île en étouffant le reste de la végétation.

La sécurité des personnes peut aussi être en jeu, par exemple : les plantes exotiques, comme les élodées, forment des herbiers suffisamment denses si elles sont arrachées par les crues, elles colmatent alors les pompes des circuits de refroidissement des centrales nucléaires et s'accumulent dans les installations. Autre exemple, le moustique-tigre porteur de la malaria et du virus Zika voit son aire de vie augmenter sous l'influence du réchauffement de l'atmosphère. Cela a des effets sanitaires et économiques néfastes très importants.

Les introductions d'espèces sont en grande partie provoquées par les activités humaines. Il peut s'agir d'introductions réalisées volontairement pour différentes raisons : l'exploitation du potentiel d'une nouvelle espèce, l'utilisation de plantes en ornement, la culture d'une nouvelle espèce, l'élevage d'une espèce pour sa fourrure... Ou par une introduction involontaire d'espèces exogènes à l'écosystème. Dans ce cas, les espèces végétales se propagent par dissémination des graines par le vent et les animaux, par déplacements

naturels liés aux bouleversements climatiques et géologiques. Plus récemment, par des colonisations humaines qui déplacent avec elles les espèces utilitaires. L'accélération des flux de transit (marchandises, tourisme, flux migratoires forcés...) ont renforcé l'introduction de nouvelles espèces, involontaire par voie fluviale, aérienne ou maritime (eaux de ballast des navires) ou terrestre (route, réseaux ferroviaires).

- **La surexploitation des espèces**

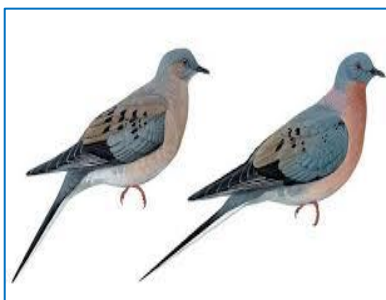
La surexploitation d'une espèce survient quand elle est exploitée au-delà de sa capacité à se régénérer par elle-même : pour la nourriture, pour les matières premières ou pour la médecine.

- **La pression de la chasse** représente encore de nos jours un facteur de déclin pour certaines espèces vulnérables, et notamment pour l'avifaune :

Exemple 1: Le pigeon migrateur *Ectopistes* qui vivait dans les forêts de l'est de l'Amérique du nord a été anéanti par les chasseurs et son dernier spécimen est mort au zoo en 1914.

Exemple 2: Le tigre du Bengale et quatre de ses sous-espèces sont les animaux les plus menacés de disparition par le braconnage. Ils sont chassés en grande partie pour leur fourrure très convoitée ainsi que pour leurs organes tels que les dents, les os, les yeux et même le sang. Cette quête, décorative ou supposée médicinale, aurait pour conséquence la disparition du tigre Java et du tigre blanc. Il ne reste sur terre environ que 3000 à 4500 individus.

Exemple 3: Le panda géant ne vit qu'en Chine et au Tibet. Il n'en reste que 1750 individus. La disparition du panda géant est essentiellement due à la déforestation et à l'exploitation du bambou, leur principale source d'alimentation. En effet, dans le Wanglang, paradis du panda, on a enregistré en 21 ans la disparition de 176 individus.



Le pigeon Ectopistes



Le tigre du Bengale



Le panda géant

- **La surpêche**, entraîne aussi une baisse de la biomasse et du niveau trophique moyen qui affecte toutes les régions du monde. Cette baisse entraîne des changements dans la structure

et le fonctionnement des réseaux trophiques et dans la biodiversité, en entraînant certaines espèces au bord de l'extinction. Les espèces de poissons, d'invertébrés marins de crustacés (crevettes, langoustes), de mollusques (calmars, seiches, palourdes, divers autres bivalves et gastéropodes) sont devenues aujourd'hui des victimes de la surpêche. Les disparitions des espèces marines sont liées aux performances des nouveaux bateaux de pêche qui sont devenus de véritables usines flottantes, grâce aux progrès techniques comme les aides électroniques à la navigation, les radars et sonars, les positionnements des ressources par satellite qui permettent de quadriller systématiquement la mer.

La surexploitation des espèces a des conséquences sur la biodiversité :

- **Réduction de la taille de la population** : L'exploitation des espèces par l'homme est une cause de mortalité additionnelle, en plus de la mortalité naturelle. Si les individus d'une espèce sont capturés plus rapidement qu'ils ne peuvent se reproduire, le taux de croissance de la population décline. La baisse des effectifs d'une population entraîne indirectement la chute des effectifs d'autres espèces liées (marines ou mammifères), avec un impact à l'échelle de l'écosystème.
- **Changement dans la structure de la population (âge/sexe/taille)** : L'exploitation des espèces par l'homme se fait sur certaines catégories d'individus. Elle touche des espèces de grande taille avec un faible taux de reproduction (comme les éléphants, baleines, rhinocéros...) qui sont des proies convoitées du fait de leur déplacement lent qui facilite leur capture. Si les individus capturés sont les plus productifs, la perte d'individus de la population peut avoir un effet démesuré sur le taux de croissance de la population.
- **Changement dans la distribution spatiale** : L'exploitation de certaines espèces peut les conduire à se déplacer en dehors de leur habitat optimal vers un habitat de moindre qualité. Cette altération de la distribution spatiale des individus peut entraîner une baisse du taux de survie et/ou du taux de reproduction de l'espèce, induisant ainsi la réduction de la viabilité de la population.
- **Destruction d'espèces non cibles** : Les filets de chalutage ramassent tout ce qui se présente, avec un taux élevé de prises accidentelles d'espèces non cibles qui représenteraient près de 95% des prises globales. Elles comprennent une large gamme d'espèces menacées ou déjà victime de surpêche. Certaines prises accidentelles sont le plus souvent rejetées mortes car elles ne correspondent pas à la bonne espèce ou aux

normes de taille : trop petites, de moindre qualité ou ne faisant pas partie des quotas de pêche. Ces prises accidentelles contribuent à la baisse de la biodiversité aquatique des mammifères marins, des tortues marines, des oiseaux marins, d'autres espèces de poissons. Ainsi, les requins sont capturés à la place des thons et des espadons.

- **La pollution**

Elle menace les espèces et leurs milieux de vie directement, en altérant la qualité de la nourriture et de l'eau (empoisonnement des individus) ou indirectement en altérant leurs conditions de vie (eutrophisation des milieux aquatiques, acidification des océans, pollution des eaux, des sols et de l'air...).

- **Les pollutions organiques** : Les polluants peuvent augmenter la turbidité des eaux et créer un phénomène d'eutrophisation avec une diminution de la quantité d'oxygène dissous. Ces modifications environnementales ont de profondes conséquences sur les populations du milieu : disparition d'espèces, prolifération d'autres espèces.
- **Les pollutions chimiques** : Elles sont engendrées par des rejets de produits chimiques à la fois d'origine industrielle et domestique. Elles peuvent résulter notamment de l'utilisation de pesticides, de détergents ou encore de métaux lourds. Les pesticides sont susceptibles d'affecter tous les compartiments de l'écosystème (sol, eau, air) et un grand panel d'espèces: oiseaux (canards, pigeons, perdrix), mammifères (sanglier, chevreuil, renard, lapin, blaireau, loutre), insectes (abeilles...). Les populations les plus directement exposées sont la faune (macrofaune et microfaune) et les micro-organismes de l'écosystème.

La pollution a des conséquences néfastes sur les espèces vulnérables en provoquant:

- La diminution du taux de reproduction,
- L'augmentation du taux de mortalité des jeunes et des adultes,
- La baisse de l'effectif qui entraîne et augmente la vulnérabilité des populations.

- **Le changement climatique**

La biodiversité est directement menacée par les changements climatiques. Dans le monde, la distribution des espèces a été modifiée et des espèces ont disparu à une cadence de 100 à 1000 fois supérieure à la normale. Le réchauffement du climat pourrait devenir la principale cause de disparition des espèces d'ici la fin du 21^{ème} siècle. La plus récente publication du Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique souligne que les

changements climatiques menacent de plus en plus gravement les écosystèmes et les services qu'ils fournissent. Certains habitats, tels que les récifs coralliens, les montagnes, les fleuves et les rivières, sont particulièrement menacés. Les tourbières et marais font également partie des habitats les plus vulnérables.

- **Distribution des espèces** : De nombreuses espèces végétales et animales ont modifié leurs aires de répartition vers le nord et/ou vers de plus hautes altitudes en réponse aux changements climatiques.

- **Phénologie des espèces** : L'augmentation de température engendre des modifications dans la phénologie (l'apparition d'événements périodiques) dans le monde vivant, bouleversant les interactions entre espèces. On constate entre autres :

- Des événements printaniers plus précoces tels que l'éclosion des bourgeons.
- Des événements automnaux plus tardifs, tels que le jaunissement des feuilles
- Un avancement, des événements phénologiques de printemps et d'été de 2,5 et 4 jours par décennie entre 1971 et 2000.
- Une augmentation de la durée de la saison des pollens, qui commence aujourd'hui en moyenne 10 jours plus tôt qu'il y a 50 ans.
- Un avancement du cycle de vie de nombreux groupes d'animaux, tels que : la reproduction des grenouilles, la nidification des oiseaux et leurs migrations, la reproduction des insectes thermophiles...
- L'arrivée plus précoce de certains organismes marins dans leurs cycles saisonniers en mer méditerranée. Certaines espèces de plancton ont ainsi avancé leur cycle saisonnier de 4 à 6 semaines au cours des dernières décennies. Ces changements dans la phénologie du plancton ont des conséquences importantes sur la structure des réseaux trophiques marins.

- **Prolifération d'espèces envahissantes**: Les changements climatiques facilitent aussi l'établissement de certaines espèces exotiques susceptibles de devenir envahissantes, c'est-à-dire de se développer de manière incontrôlable et ce aux dépens des espèces indigènes. Ces espèces sont susceptibles de s'adapter plus facilement que les espèces natives.

- **Des zones refuges** : Une zone refuge est une zone de diversité biologique où les conditions environnementales naturelles demeurent relativement constantes pendant les périodes de grands changements de l'environnement. Les zones refuges en Europe se situent essentiellement en Ecosse et en Scandinavie. Les plus grandes zones se trouvent également

en Amazonie, dans le bassin du Congo, dans les forêts boréales de Russie, l'Arctique et l'arrière-pays Australien.

- **Conséquences majeures dans les régions montagneuses :** Les espèces des régions montagneuses sont particulièrement vulnérables aux changements climatiques. Le réchauffement pourrait provoquer le glissement de la limite des arbres vers le haut (300 à 400 m plus haut pour une élévation de la température moyenne de 2°C).

Etant donné que près d'un quart de toutes les plantes à fleurs se trouve uniquement dans les régions de haute montagne, le réchauffement climatique signifie une menace très sérieuse pour ces espèces souvent indigènes. De nombreuses espèces seront incapables de s'adapter ou de migrer assez rapidement au cours du 21^{ème} siècle pour rester dans les conditions climatiques qui leur sont favorables. Le GIEC prévoit que la capacité naturelle d'adaptation de nombreux écosystèmes sera dépassée au cours de ce siècle par une combinaison sans précédent de perturbations diverses : changements climatiques, pollutions, changement d'affectation des terres... Une augmentation des températures moyenne limitée à 2°C engendre des risques modérés sur la biodiversité. Ces risques deviennent élevés à très élevés dans le cas de réchauffements plus marqués. Dans ces conditions, une grande partie des espèces terrestres et aquatiques seront menacées d'extinction. Ce sont surtout les espèces qui sont déjà menacées qui auront le plus à souffrir. Des écosystèmes uniques et menacés comme l'Arctique ou les récifs coralliens, par exemple, seront soumis à des risques très élevés suite aux changements climatiques. D'ici la fin du 21^{ème} siècle, la distribution des espèces végétales va vers le nord sur plusieurs centaines de kilomètres. Les forêts seront susceptibles de se réduire dans le sud et de s'étendre dans le nord. Environ la moitié des espèces végétales de montagne risque d'être menacée d'extinction.

2.1.7. L'agriculture

L'accroissement démographique de la population mondiale a conduit à une augmentation des productions agricoles afin de satisfaire les besoins alimentaires. L'agriculture occupe environ un tiers de la surface terrestre totale, elle est la cause de 80% de la déforestation mondiale et elle pèse pour près de 70 % de la consommation d'eau. Il est donc indispensable de prendre en compte les impacts des pratiques agricoles sur l'environnement, la biodiversité et la santé. Les impacts de l'agriculture sur les sols et la biodiversité existent depuis son apparition, il y a environ 10 000 ans. La culture et l'élevage ont un profond effet sur l'environnement. Ils sont les causes principales de la pollution de l'eau par les nitrates, les phosphates et les pesticides. Ils constituent aussi les principales

sources anthropiques des gaz à effet de serre et ils contribuent massivement à d'autres types de pollution de l'air et de l'eau. L'agriculture nuit également à son propre avenir par la dégradation des sols, la salinisation, le soutirage excessif d'eau et la réduction de la diversité génétique des cultures et du bétail.

A partir de 1945, l'augmentation de l'utilisation des engrais minéraux, l'apparition des pesticides, le développement de l'irrigation et la mécanisation généralisée de l'agriculture ont fortement augmenté les rendements mais aussi les impacts environnementaux. Ces derniers sont liés à plusieurs facteurs:

- **Impacts liés aux apports d'engrais**

Les engrais utilisés dans l'agriculture sont des causes majeures de pollution de l'eau. La pollution de l'eau souterraine par les produits chimiques et les déchets agricoles est un problème considérable dans presque tous les pays développés et plus encore dans les pays en développement. Les engrais sont la cause de pollution quand ils sont appliqués en quantité supérieure à ce que les cultures peuvent absorber, ou lorsqu'ils sont lessivés par l'eau ou emportés par le vent, avant de pouvoir être absorbés. L'excès d'azote et de phosphates peut migrer dans les eaux souterraines ou s'écouler dans les eaux de surface. Cette surcharge d'éléments nutritifs cause l'eutrophisation des lacs, des réservoirs, des mares et provoque une prolifération nocive d'algues aux dépens des plantes et des animaux aquatiques. De 1961 à 2009 la consommation d'engrais a été multipliée par 5, ce qui a contribué pour environ 50% à l'accroissement des rendements agricoles. Elle n'a jamais cessé d'augmenter, sauf de 1988 à 1994 quand certains pays, notamment de l'Union Européenne, ont mis en place une réglementation limitant leur utilisation (Figure 17).

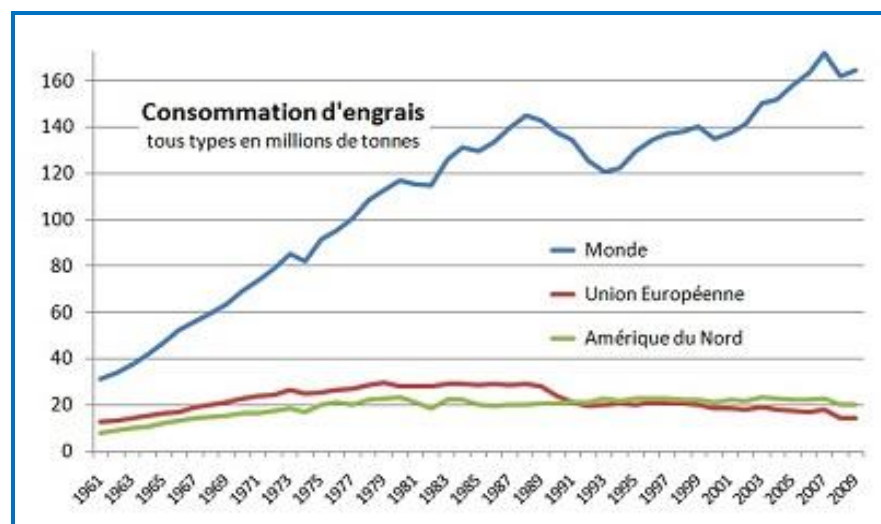


Figure 17 : Consommation d'engrais dans le monde

(Réf : <https://www.futura-sciences.com>)

Les prévisions de production végétale à l'horizon 2030 prévoient un ralentissement de l'emploi d'engrais azotés. L'augmentation de la quantité totale d'engrais utilisés jusqu'en 2030 pourrait se limiter à 37%. Leur emploi actuel dans beaucoup de pays en développement est très inefficace. En Chine, le plus gros consommateur d'engrais azotés au monde, la moitié des engrais appliqués est perdue par volatilisation et de 5 à 10% le sont par lessivage.

- **Impacts liés aux apports de produits phytosanitaires**

L'utilisation des pesticides dans le monde ne cesse de croître, suivant le rythme d'expansion des variétés modernes de végétaux à haut-rendements... et donc à hautes exigences en intrants. Dans ces intrants, on retrouve les engrais de synthèses, N-P-K et tout un panel de pesticides : herbicides, fongicides, acaricides, molluscicides, insecticides... parmi lesquels plus de 1000 substances toxiques. Ces pesticides sont également appliqués en grande quantité dans beaucoup de pays développés et en développement, entraînent la pollution de l'eau douce par des carcinogènes (causent des cancers) et autres poisons affectant l'homme et différentes espèces floristiques et faunistiques. L'emploi des pesticides s'est accru considérablement pendant les 35 dernières années, avec un taux de croissance ayant récemment atteint 4 à 5,4% dans certaines régions. De 1961 à 1999 la production mondiale de pesticides s'est accrue de 854% (Figure 18).

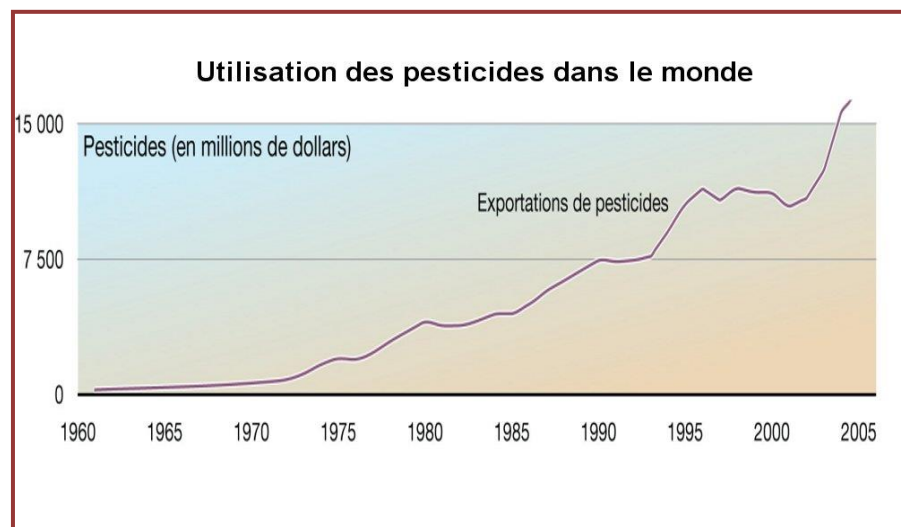


Figure 18 : Utilisation des pesticides dans le monde

(Réf : <https://www.ble-civambio.eus>)

En 2001, 3 millions de tonnes de pesticides étaient utilisées dans le monde. Actuellement, la FAO estime ce chiffre à 4.6 millions de tonnes par an. En 2019, les 10 pays les plus consommateurs de pesticides, en tonnes/an, sont illustrés sur la figure 19.

Actuellement, l'usage mondial des pesticides est de 25% par des pays en développement, même si leur part tend à augmenter d'années en années. Globalement, les pesticides utilisés sont à 47,5 % des herbicides, 29,5 % des insecticides, 17,5 % des fongicides et 5,5% divers. Mais, avec la montée des préoccupations concernant la pollution et la perte de biodiversité, il se peut que l'emploi des pesticides croisse plus lentement que par le passé. Dans les années 1990 il y a eu un certain déclin de l'emploi d'insecticides, tant dans des pays développés tels que l'Allemagne et le Royaume-Uni, que dans certains pays en développement comme l'Inde. Par contre, l'emploi des herbicides a continué à croître dans la plupart des pays.

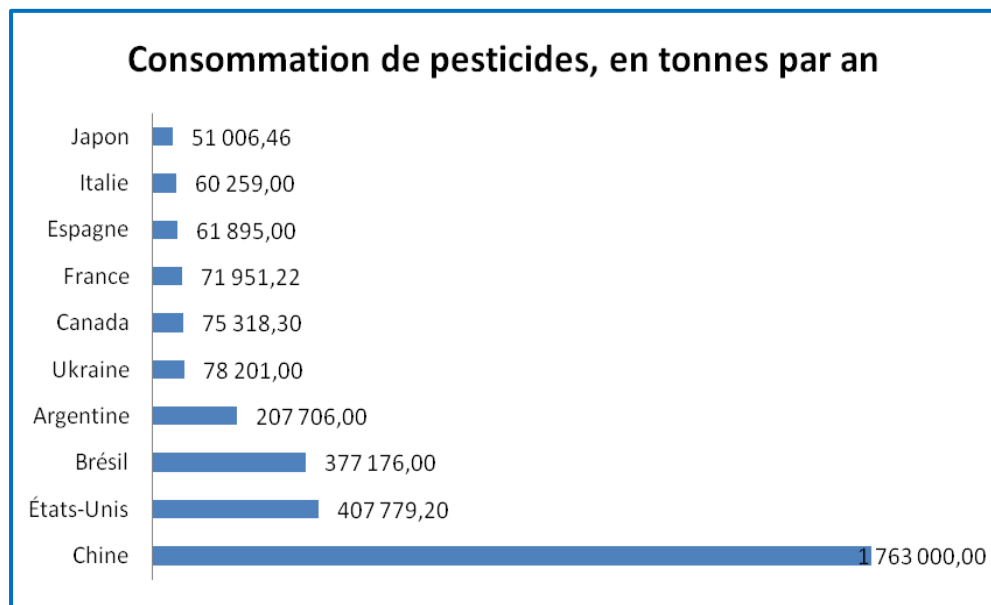


Figure 19 : Consommation des pesticides dans le monde

(Réf: <https://www.ble-civambio.eus>)

Dans les pays développés, la législation et la fiscalité en limitent de plus en plus l'emploi. Il y'aura probablement à l'avenir une augmentation de l'emploi de pesticides dits "intelligents", des variétés de cultures résistantes et des méthodes plus écologiques de lutte intégrée contre les ravageurs.

- **Cause la pollution atmosphérique**

L'agriculture est une cause majeure de pollution atmosphérique et c'est la principale source anthropique d'ammoniaque. Le bétail produit environ 40% des émissions de ce gaz dans le monde, les engrais minéraux 16% et la combustion de la biomasse et des résidus de cultures environ 18%. L'ammoniaque est encore plus acidifiante que l'anhydride sulfureux, et les oxydes d'azote. C'est l'une des causes principales des pluies acides qui abîment les arbres, acidifient les sols, les lacs, les cours d'eau et nuisent à la biocénose et à la biodiversité.

L'imposition de normes et de contrôles plus stricts sur les émissions de gaz acidifiants comme l'anhydride sulfureux et autres, il est possible que l'ammoniaque devienne la cause majeure d'acidification. D'après les projections des experts, d'ici 2030 les émissions d'ammoniaque et de méthane dues au secteur de l'élevage pourraient dépasser dans les pays en développement d'au moins 60% leur niveau actuel.

Il est estimé également que l'homme est responsable d'environ 90% de la combustion de biomasse, surtout par les feux de forêt allumés délibérément dans le cadre du déboisement et par le brûlage des pâturages et des résidus de culture pour déclencher la repousse et détruire l'habitat des ravageurs.

- **Pression sur la biodiversité**

La perte de la biodiversité due aux méthodes agricoles se poursuit sans relâche, même dans les pays où la nature est vivement protégée. Les estimations de la perte de biodiversité au cours des prochaines décennies varient considérablement et vont de 2 à 25% et concernent toutes les espèces. La modification des pratiques agricoles au 20^{ème} siècle a conduit à une érosion de la biodiversité ayant conduit localement à l'extinction de nombreuses espèces et diverses animales : papillons, abeilles, guêpes, coléoptères, reptiles, amphibiens, épinoches, alouettes..., normalement très communs dans les champs ou à leurs abords jusque dans les années 1970.

La diversité des espèces est étroitement liée à la superficie des habitats non cultivés. A mesure que cette superficie diminue, le nombre d'espèces qu'elle abrite décline. L'intensification agricole ajoute d'autres problèmes. Les pesticides et les herbicides détruisent directement de nombreux insectes et végétaux non désirés et réduisent les disponibilités alimentaires pour les animaux d'espèces supérieures. Certaines espèces affectées peuvent être d'importants agents de prédation des ravageurs ou de recyclage d'éléments nutritifs et de pollinisation. D'autres représentent une source potentielle de matériel génétique pour l'amélioration des espèces végétales et animales domestiques.

Les pressions exercées sur la biodiversité au cours des trois prochaines décennies seront le résultat probable de tendances divergentes. La perte due à l'agriculture d'habitats naturels de la faune continuera, mais à un rythme plus lent.

- **Contribution au changement climatique**

Le secteur agricole contribue fortement à l'effet de serre. Les principaux gaz à effet de serre émis par le secteur agricoles sont :

- **Le dioxyde de carbone** (CO_2), a une durée de résidence assez longue dans l'atmosphère (100 ans). L'agriculture dégage de quantités importantes de gaz carbonique lors de la combustion de la biomasse, surtout dans les zones de déboisement et de feux de prairies. Il est émis par l'utilisation de l'énergie en agriculture (carburant, chauffage des bâtiments d'élevage).
 - **Le méthane** (CH_4), il a une durée de résidence courte dans l'atmosphère (14 ans) ; il reste moins longtemps dans l'atmosphère que le gaz carbonique. Sa puissance d'échauffement est environ 20 fois plus forte, et il représente donc un important facteur à court terme du réchauffement de la planète. L'agriculture est également responsable de presque la moitié des émissions de méthane. Ses émissions anthropiques annuelles se montent actuellement à environ 540 millions de tonnes et augmentent d'environ 5% par an. Le bétail cause à lui seul environ un quart des émissions de méthane, en raison des fermentations intestinales et de la décomposition des excréments. Avec l'augmentation de la quantité de bétail et l'industrialisation croissante de l'élevage, il est estimé que la production de fumier augmentera de 60% d'ici 2030. Les émissions de méthane dues au bétail croîtront probablement dans la même proportion. La riziculture est l'autre source agricole principale de méthane, et représente environ un cinquième des émissions anthropiques. La superficie consacrée à la culture du riz irrigué augmentera d'environ 10% d'ici 2030.
 - **L'oxyde nitreux** ou le **protoxyde d'azote** (N_2O) a une durée de résidence très longue dans l'atmosphère (120 ans). L'agriculture est également responsable du dégagement de grandes quantités d'un autre gaz à effet de serre: l'oxyde nitreux. Ce gaz est produit par des processus naturels, mais sa production est renforcée par le lessivage, la volatilisation, le ruissellement des engrais azotés, la décomposition des résidus de cultures et des déchets animaux. Le bétail compte pour environ la moitié des émissions anthropiques. Le protoxyde d'azote a un potentiel de réchauffement global 298 fois plus élevé que celui du dioxyde de carbone. Il est prévu que les émissions annuelles d'oxyde nitreux dues à l'agriculture augmenteront de 50% d'ici 2030.
- **La dégradation des sols**

Outre la pollution, l'agriculture est également responsable de la régression et de la dégradation des sols, notamment par les métaux : le cadmium issu des engrais phosphatés, le

plomb, le cuivre et d'autres métaux relargués d'anciens pesticides, de lisiers ou de boues d'épuration contenant des traces de métaux lourds.

- **Pratiques agricoles et ressources en eau**

Le développement démographique incite à l'accroissement de la production agricole, ce qui entraîne une augmentation de la consommation d'eau, impliquant des prélèvements d'eau plus importants, aussi bien dans les eaux superficielles que souterraines. C'est un secteur fortement consommateur d'eau douce.

- **Les organismes génétiquement modifiés (OGM)**

L'industrie alimentaire développe des organismes génétiquement modifiés (OGM), avec l'introduction de gènes fonctionnels physiologiquement et économiquement avantageux. Ainsi l'introduction de certains gènes dans le génome de diverses plantes permet aux transgènes de résister à l'attaque de ravageurs, sans apport de traitement exogène coûteux et polluant.

On ne connaît pas encore précisément l'impact de ces modifications génomiques sur la santé des consommateurs et sur l'environnement, mais cet aspect reste très controversé.

2.2. Le développement durable. Pourquoi ?

Le développement durable est l'avenir le plus sûr de la planète et des êtres humains. La forte croissance de la population mondiale a considérablement augmenté les dépenses en ressources. De 900 millions d'êtres humains en 1800, la Terre abrite 8 milliards de personnes en 2022. Cette croissance démographique fulgurante a engendré une augmentation tout aussi fulgurante de la consommation de biens et de services, notamment de la part des pays du Nord, dits développés, au détriment des pays du Sud, en voie de développement.

Dans les années 70, un grand nombre d'experts et de scientifiques tirent la sonnette d'alarme quant à l'impact de l'activité des hommes sur la planète. Depuis la révolution industrielle, la société a connu un développement sans précédent, mais sans véritablement en mesurer les conséquences de l'évolution de son mode de vie. À cela se sont ajoutés :

- l'accélération des échanges avec le reste du monde (la mondialisation) ;
- l'accroissement des inégalités entre pays riches et pays pauvres ;
- les prévisions de croissance démographiques qui visent à 10 milliards d'habitants sur la planète d'ici 2100.

Ainsi, 80% des ressources naturelles sont utilisées par 20% de la population. Cela engendre des zones de grande richesse et de grande pauvreté. Et dans le même temps, les habitants de certaines parties du monde n'ont pas accès à l'éducation, aux soins ou même à l'eau potable et à un emploi dignement rémunéré. Les modes de production ont suivi ce rythme de la croissance économique sans se soucier de la capacité de résilience de la Terre. De même que les évolutions sont souvent liées à des destructions massives et non réglementées, telles que :

- Le Pillage des ressources des pays en développement,
- Pollution des sources d'eau,
- Surexploitation de la forêt,
- Destruction de l'habitat naturel,
- Perte de la biodiversité...

Avec ces données en tête, il devient évident que ce rythme de développement n'est plus soutenable et qu'il est impératif et urgent de faire évoluer les sociétés humaines vers une nouvelle perception et de nouvelles normes de croissance et de développement.

La question est, que deviendrait notre environnement dans 50 ans ? Il est temps de trouver une solution radicale pour y remédier : « le développement durable ».

Toute l'ambition d'un développement durable est de faire évoluer une vision du progrès pour l'envisager sous l'aspect économique mais aussi environnemental et social ; un progrès qui bénéficie à tous, partout, aujourd'hui comme demain. L'humanité fait face à des défis sans précédent :

- l'intensification des phénomènes climatiques extrêmes,
- la perte fulgurante de biodiversité,
- l'accentuation des inégalités,
- toutes les crises globales ou locales qui en découlent.

Il sert à préserver les ressources pour garantir l'avenir de l'Humanité, réduire l'empreinte laissée par l'homme sur l'environnement et lutter contre le réchauffement de la terre et le changement climatique. L'idée de responsabilité d'une génération par rapport à la suivante a aussi fait fortement évoluer les consciences : il n'est plus possible d'envisager notre bien-être présent sans se demander si nos enfants pourront jouir des mêmes privilèges.

L'ONU pose quelques enjeux du développement durable :

- L'Humanité : éliminer la pauvreté et la faim, sous toutes leurs formes et dans toutes leurs dimensions, et faire en sorte que tous les êtres humains puissent réaliser leur potentiel dans des conditions de dignité et d'égalité et dans un environnement sain.
- La planète : lutter contre la dégradation des écosystèmes, en recourant à des modes de consommation et de production durables, en assurant la gestion durable des ressources naturelles et en prenant d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques, pour répondre aux besoins des générations actuelles et futures.
- La prospérité : faire en sorte que tous les êtres humains aient une vie prospère et épanouissante et que le progrès économique, social et technologique se fasse en harmonie avec la nature.
- La paix : favoriser l'avènement de sociétés pacifiques, justes et inclusives, libérées de la peur et de la violence. En effet, il ne peut y avoir de développement durable sans paix ni de paix sans développement durable.

Le dernier document de l'ONU, connu sous le nom d'Agenda 2030, concerne des questions clés telles que :

- la réduction du niveau de pauvreté, de la faim et promouvoir la prospérité sanitaire;
- l'accès à l'éducation et l'égalité des sexes ;
- la gestion durable de l'eau et de l'énergie ;
- le soutien du développement économique et la réduction du chômage;
- l'amélioration de la sécurité dans les villes;
- la lutte contre le changement climatique et la pollution de l'eau.

Les sociétés humaines vont devoir entrer dans une transition et repenser l'ensemble de leurs activités. De nombreux acteurs sont déjà engagés dans cette transition vers un mode de fonctionnement plus respectueux de l'environnement et des êtres humains.

2.3. Le concept du développement durable

Le concept du développement durable trouve ses origines théoriques dans le milieu du 19^{ème} siècle.

Historiquement, le concept correspond à la rencontre de deux courants de réflexion anciens : la notion de développement et la prise de conscience écologique :

- **La notion de développement** : elle s'est imposée dès les années 1950 autour de l'idée de "développement" qui s'est peu à peu opposée au concept purement économique de "croissance". Le terme "durable" désigne quelque chose qui peut durer dans le temps, de manière infinie. En effet, le développement économique, d'un côté, a pour but une croissance infinie. De l'autre côté et paradoxalement, les ressources de la planète sont finies et nécessitent donc une gestion rationnelle pour en faire une donnée durable.

Au début le "développement" a surtout concerné les pays du Sud. Ces pays cherchaient à sortir du sous-développement caractérisé par le faible niveau de la santé, de l'éducation et par l'ampleur de la pauvreté et des inégalités. Il intègre des valeurs sociales et culturelles (la santé, l'éducation...).

- **La prise de conscience écologique** : elle s'est développée à partir des années 1970 et s'est imposé avec l'idée d'une protection de l'environnement naturel et d'une utilisation aussi économe que possible des ressources naturelles. Il fallait mettre un frein aux gaspillages et aux dérèglements occasionnés par la croissance débridée et extrêmement rapide des années de l'après-guerre. Il fallait aussi préserver la nature contre les risques d'agression des activités humaines. C'est la période de la création des parcs nationaux, des réserves naturelles, du classement des grands sites naturels, des mesures de protection des espèces... De la sorte, une nouvelle étape est franchie dans la prise de conscience des menaces qui pèsent sur l'environnement. Les atteintes portées par l'homme à son milieu concernent les écosystèmes et affectent globalement la biosphère par divers aspects : découverte du trou dans la couche d'ozone, phénomène de désertification, accroissement de l'effet de serre... Suite à une prise de conscience de ces problèmes majeurs, plusieurs conférences internationales ont eu lieu et des protocoles de portée internationale ont été signés. Les dates historiques qui ont marqué l'évolution de la notion du développement durable :

1798 : L'économiste **Thomas Malthus** propose le premier modèle de développement durable. Dans son ouvrage, intitulé «*Essai sur le principe de population*», il a analysé la durabilité de la société par la mise en relief de la relation entre la disponibilité de la nourriture et la croissance démographique.

1950 : Premier rapport sur l'état de l'environnement, publié par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN).

1960 : Premiers Accords Multilatéraux sur l'Environnement (AME), adoptés par les Nations Unies.

1972 : Rapport Meadows, publié par le **Club de Rome**, est également connu par un ouvrage intitulé *The limits of growth* (Halte à la croissance). Cet ouvrage propose de limiter très fortement la croissance (le concept de « croissance zéro ») pour faire face à l'épuisement des ressources de la planète en matières premières. Le Club de Rome a été le point de départ des conférences sur l'environnement, vers la fin des années 1960. Ce Club est une association internationale et non politique qui regroupe des économistes, des scientifiques, des humanistes, des professeurs, des fonctionnaires nationaux, de décideurs publics et privés ainsi que des industriels de 53 pays, préoccupés des problèmes complexes auxquels doivent faire face toutes les sociétés, tant industrialisées qu'en développement. Le club de Rome s'est donné pour mission l'étude de l'activité de l'humanité pour résoudre les problèmes nationaux. Il a porté sa réflexion sur les « *dangers que présente une croissance économique et démographique exponentielle vis-à-vis de l'épuisement des ressources, de l'accumulation de la pollution et de la surexploitation des systèmes naturels* ».

1972: Première conférence sur l'environnement humain à Stockholm programmée du 5 au 16 juin 1972. La **Conférence de Stockholm** avait pour slogan « Une seule Terre » et a abouti à la création du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) avec la participation de plus de 1400 intervenants de 113 pays. Un modèle de développement économique qui tient compte de l'écologie est né : il s'agit de « *l'écodéveloppement* ».

Selon ce modèle, les pays développés doivent utiliser tous les moyens pour préserver l'environnement car ce sont les premiers responsables de la pollution dans le monde et les seuls qui disposent de moyens financiers pour le faire. Ce concept s'attache à réconcilier le développement humain et l'environnement. Il contribue également à remettre en cause les modes de développement du Nord et du Sud, générateurs de pauvreté et de dégradations environnementales.

La déclaration de Stockholm était considérée comme le début du développement durable. Elle se basait sur 26 principes qui portent sur la protection de l'environnement, l'éradication de la pauvreté et l'amélioration des conditions économiques dans le monde. Le 16 novembre 1972, l'ONU a mis en place une convention qui concerne la protection du patrimoine mondial culturel et naturel

1972-1992: Adoption de multiples conventions et accords multilatéraux sur l'environnement, parmi lesquels :

- la **convention de Washington** (1973) sur le commerce international des espèces sauvages de la faune et de la flore menacées d'extinction ;

- le **protocole de Montréal** (1978) relatif à la présence des substances chimiques qui appauvrissent la couche d'ozone ;
- la **Convention de Vienne** (1985) pour la protection de la couche d'ozone ;
- la **Convention de Bâle** (1989) sur le contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et sur leur élimination.

1980: L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) propose le terme de «*sustainable development*», traduit en français par le «*développement soutenable* » et par la suite par le «*développement durable* ». Elle se réfère à la notion de développement durable par la publication de sa stratégie mondiale pour la conservation.

1987 : Publication du **rapport Brundtland** intitulé "*Notre avenir à tous*", commandé par les Nations Unies et rédigé par le premier ministre norvégien Brundtland. Ce rapport fait apparaître, pour la première fois, la notion de développement durable. Dans ce rapport, le terme développement durable est défini comme : « *Un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs* » (Brundtland, 1987). Ce rapport atteste que la pauvreté croissante au sud et la croissance économique soutenue du nord sont les principales causes de la dégradation de l'environnement à l'échelle planétaire. Il préconise un changement radical dans le processus de développement, en considérant la protection de l'environnement comme une priorité et en insistant sur une redistribution équitable des richesses mondiales.

1990 : Création du Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM). Le FEM fournit plus de 65% des fonds du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE).

1992 : Organisation par les nations unies de **La conférence de Rio** qui fut la deuxième conférence sur l'environnement et le développement, appelée « Sommet de la terre ». Ce sommet a été organisé par les Nations Unies le 13 Juin 1992 à Rio de Janeiro (Brésil). Les 173 chefs d'Etats et de gouvernements présents lors de ce sommet se sont engagé à adopter les quatre textes suivants:

- La Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement ;
- La Convention sur les changements climatiques, avec engagement pour les pays riches de ramener en 2000 leurs émissions de gaz à effet de serre (GES) au niveau de 1990 ;
- La Convention sur la biodiversité, engageant tous les pays (ce que les Etats-Unis n'ont pas fait) à favoriser la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique,

- Le partage juste et équitable des avantages découlant de son exploitation ;
- La Déclaration des principes relatifs aux forêts.

Lors de ce sommet, un « Guide méthodologique du développement durable », appelé **Agenda 21**, (21 faisant référence au 21^{ème} siècle) est rédigé à l'attention des participants. Pour la première fois, le débat politique quitte les sphères gouvernementales pour alerter et mobiliser l'opinion publique: chacun a désormais son rôle à jouer pour un meilleur développement de l'humanité.

Le 13 juin 1992, une convention des Nations Unies sur les changements climatiques a été signée à New York. Elle est rentrée en application en 1994, avec pour objectif de stabiliser les concentrations des gaz à effets de serre dans l'atmosphère.

1993 : Lancement par l'Europe du programme **Villes durables européennes**, il a pour but de réaliser **l'Agenda 21** au niveau du continent, en aidant ces villes à appliquer ce plan d'action.

1994 : Organisation par les Nations Unies de la **Conférence du Caire** relative à la surpopulation mondiale et au développement.

1997 : Elaboration du **Protocole de Kyoto** en décembre 1997, il complète la convention sur les changements climatiques signée à Rio. Ce protocole a engagé 38 pays industrialisés (dont : les États-Unis, le Canada, le Japon, les pays de l'Union européenne et les pays de l'ancien bloc communiste) à réduire, entre 2008 et 2012, leurs émissions de gaz à effet de serre de 5,2 % en moyenne pour les pays industrialisés et de 8% pour l'union européenne, par rapport au niveau de 1990.

Les gaz considérés comme responsables du réchauffement climatique sont : le dioxyde de carbone, le méthane, l'oxyde nitreux, l'hexafluorure de soufre, les hydrofluorocarbures et les hydrocarbures perfluorés. Les échanges de permis d'émission de gaz à effet de serre sont introduits. Au fil des conférences suivantes (Buenos Aires en 1998, Bonn en 1999, la Haye en 2000), l'application du protocole de Kyoto se heurtera à des difficultés croissantes, notamment pour la mise en œuvre de ses mécanismes de flexibilité. Il est officiellement entré en vigueur en 2005.

2000 : Adoption par l'Assemblée générale de l'ONU, en septembre 2000, d'un ensemble d'objectifs humanitaire de lutte contre la pauvreté, par l'amélioration du mode de vie et de la situation des populations à l'horizon 2015.

2002 : Tenue du **Sommet de Johannesburg** du 26 août au 4 septembre 2002, dans la continuité des conférences de Stockholm et de Rio. Ce sommet est appelé : **Le Sommet de la Terre de Johannesburg**. Il a regroupé 22 000 participants de 193 pays et 100 chefs d'Etat. Les représentants du domaine des affaires et de l'industrie étaient présents en nombre. Ce sommet avait pour objet exclusif le développement durable et l'état d'avancement de l'Agenda 21. Il avait également pour but d'identifier les efforts supplémentaires possibles en matière de réduction de la pollution et d'incitation des pays riches à collaborer d'avantage avec les pays en développement dans ce domaine. De nouvelles dispositions ont donc été mises au point. Le nouveau plan d'action comportait plusieurs thèmes: les énergies renouvelables, la biodiversité et l'aide aux pays en développement. Les décisions portaient sur l'eau, l'énergie, la santé, l'agriculture et visaient à réduire la pauvreté et la pollution.

Malheureusement, il a été constaté que les recommandations du sommet de Rio n'avaient pas été respectées. Dans la mesure où très peu de pays riches avaient mis en place des stratégies de développement durable et que les aides aux pays en développement se sont révélées dérisoires.

2005 : Entrée en vigueur du **Protocole de Kyoto**.

2007 : Plan d'action de la **Conférence internationale à Bali** sur le climat. Cette conférence avait pour but de permettre la négociation d'un accord post-Kyoto lors de la 15^{ème} conférence (COP15) qui s'est tenue à Copenhague en 2009. Le rapport le plus récent du GIEC conclue que les signes du réchauffement climatique sont sans équivoque, il appelle à une action rapide et concertée de tous les pays.

2009 : Organisation de la **Conférence à Copenhague** sur le climat, elle visait à réduire de moitié les émissions de gaz à effet de serre en 2050 par rapport au niveau de 1990 afin de limiter à 2°C l'augmentation de température en 2100 par rapport à 1850.

Il était initialement prévu d'adopter un accord international pour faire suite au protocole de Kyoto. Cependant, seul un accord non-contraignant a été adopté.

2010 : Tenue de la **Conférence à Cancun** sur le climat. Elle avait pour but de revoir et d'adopter quelques mécanismes d'action concernant le changement climatique, par les aspects suivants : lutte contre la désertification, utilisation des technologies économiques propres et non polluantes pour l'environnement.

2012 : La Conférence des Nations Unies sur le développement durable appelée le **Sommet de la terre Rio+20** s'est tenu du 20 au 22 juin 2012 à Rio de Janeiro (Figure 20). Lors de ce sommet un accord a été signé « *The Future We Want* ». Il reprend les grands principes du développement durable. L'accord a renouvelé les engagements déjà pris lors des précédents sommets et a fixé un cadre d'action prioritaire pour l'éradication de la pauvreté et la protection de l'environnement. Les pays présents ont adopté le nouveau programme de l'Agenda 21 concernant la gouvernance et la politique mondiale, ils ont signé les différentes conventions sur la biodiversité, le changement climatique et la désertification. Le principal résultat de ce sommet est le lancement en 2015 des objectifs de développement durable (ODD) en remplaçant ainsi les objectifs du millénaire pour le Développement.

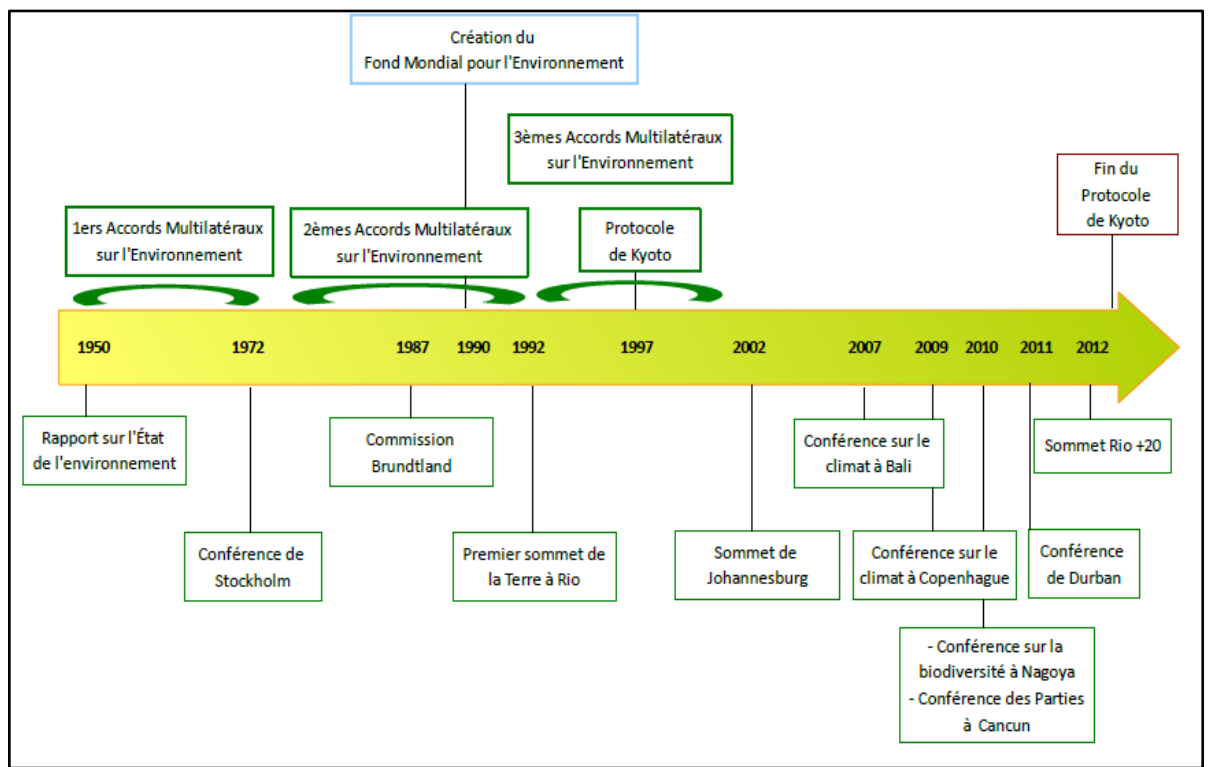


Figure 20 : Histoire du Développement durable

(Réf : <https://www.asjp.cerist.dz>)

La législation Algérienne en matière de protection de l'environnement comporte plusieurs lois qui ne cessent d'évoluer dans le temps en fonction des nouvelles données. Les premières lois datent de 1978 et 1983 et portent sur la protection des sites et la création de parcs nationaux. Des lois plus récentes, dont les dernières datent de 2015, portent sur la création de l'**Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable** ainsi que la **Caisse Nationale de l'Environnement**, sans compter d'autres lois et décrets portant sur la protection du littoral et le développement des énergies propres.

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.

2.4. Le domaine du développement durable

Aujourd'hui, la notion de développement durable est mondialement connue et souvent illustrée par trois cercles représentant chacun une des dimensions que sont l'environnement, l'économie et la société, situés sur les axes du temps et de l'espace (Figure 21).



Figure 21 : Les domaines économiques, sociaux et environnementaux du développement durable.

(Réf : <http://www.shutterstock.com>)

Cette illustration résume les points suivants:

- L'économie, la société et l'environnement sont trois domaines qui peuvent sembler indépendants au premier abord (partie extérieure des cercles), mais ils sont en réalité totalement interdépendants (partie des cercles qui se recoupent). En effet, toute action entreprise dans un domaine aura forcément des conséquences sur les deux autres.
- Les actions entreprises aujourd'hui doivent être prises en compte car elles peuvent avoir des effets à long terme. Donc, il faut penser à demain dès aujourd'hui.
- La société humaine doit être considérée dans son ensemble soit, les pays industrialisés et les pays en voie de développement confondus. Or le mode de vie qui prévaut actuellement dans les pays industriels n'est pas transposable à l'ensemble des pays, car

les ressources de la planète sont insuffisantes. Il faut donc penser à “partout” au lieu de se concentrer uniquement sur sa propre région.

Le développement durable doit s’appliquer dans le cadre des collectivités territoriales. Les domaines concernés par le développement durable couvrent l’intégralité des enjeux du développement durable tels que le climat, la biodiversité, l’énergie, mais aussi la pauvreté, l’égalité des genres, la prospérité économique ou encore la paix, l’éducation, la santé, le logement, la pollution, la désertification, la gestion de l’agriculture, la gestion des déchets, des mers, des forêts et des montagnes puis la gestion des ressources en eau et de l’assainissement.

2.5. Les principes du développement durable

La notion de développement durable repose sur la mise en pratique de 27 principes, énoncés lors des sommets et conférences internationaux cités précédemment. Ces principes fondent une partie du socle de la déclaration de Rio, adoptée lors du sommet de la terre à Rio en 1992. Ils illustrent les valeurs partagées par les nations qui s'engagent sur la voie d'un développement durable. L'article 130 énumère les principes fondateurs de la politique de la communauté dans le domaine de l'environnement : *«Celle-ci est fondée sur les principes de précaution et d'action préventive, sur le principe de la correction, par priorité à la source, des atteintes à l'environnement et sur le principe pollueur-payeur»*. Les principes énoncés sont les suivants :

2.5.1. Le principe de précaution

Le principe de précaution remonte au débat sur l'environnement dans les années 1980. En 1992, il est formulé comme étant le quinzième principe énoncé dans le cadre des principes de Rio: *«Pour protéger l'environnement, des mesures de précaution doivent être largement appliquées par les Etats selon leurs capacités. En cas de risques de dommages graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement»*.

Le principe de précaution figure aussi dans le **Traité de Maastricht** et relève, en premier lieu, des autorités publiques. Il s'applique à des risques importants et concerne les situations qui présentent un risque de dommages graves ou irréversibles, souvent en l'absence de connaissance scientifique avérée sur le sujet. Il concerne principalement les secteurs de l'environnement, de la sécurité alimentaire et de la santé. La **Cour de l'Union Européenne**

l'a appliqué dans le cas de la Vache folle en 1998. Le **Protocole de Carthagène** sur la biosécurité a autorisé en 2000 le refus d'importation de produits OGM pour des raisons sanitaires ou environnementales.

Afin d'éviter l'utilisation du principe de précaution, une procédure de mesures de prudence est mise en place : tout risque doit être défini, évalué et gradué.

Exemple: C'est en vertu du principe de précaution que les autorités sanitaires recommandent aux populations d'utiliser un kit piéton pour éloigner le téléphone portable des zones sensibles du corps, d'éloigner l'appareil durant le sommeil... En effet, même si les données scientifiques disponibles actuellement ne permettent pas de justifier ces mesures contraignantes, elles sont suffisantes pour inciter à la prudence. Il s'agit bien, en l'absence de données avérées sur les effets des radiofréquences, de limiter l'exposition des populations et d'éviter que dans l'avenir ses populations soient confrontées à des impacts sanitaires graves et irréversibles.

2.5.2. Le principe de prévention

Le principe de prévention s'applique pour toute situation à risque connu et comportant des dommages prévisibles. La prévention impose la mise en œuvre de règles et d'actions pour anticiper les risques avérés et en réduire les impacts. Ces règles doivent tenir compte des derniers progrès techniques.

La Déclaration de Rio sur l'environnement prévoit que « *les Etats doivent promulguer des mesures législatives efficaces en matière d'environnement* ».

Le principe de prévention concerne également chacun d'entre nous au quotidien, en particulier lorsque nous agissons prudemment afin d'éviter un accident domestique ou encore pour des raisons sanitaires.

Exemple: C'est en vertu du principe de prévention qu'il est interdit de jeter des déchets et des substances polluantes dans la nature et d'inciter la population à acheter des véhicules moins polluants.

2.5.3. Le principe de responsabilité

Les participants aux projets de développement durable doivent assumer le coût des mesures de prévention et de précaution. Les pollueurs doivent également couvrir les frais occasionnés par la pollution qu'ils génèrent, ainsi que les frais de réduction et de lutte contre la pollution. La responsabilité, au sens commun, est le fait que chaque personne soit tenue de répondre juridiquement ou moralement de ses actes et décisions et d'en assumer les conséquences. Les septième et treizième principes de la déclaration de Rio introduisaient la

notion de responsabilité environnementale des pays développés: « *Les pays développés admettent la responsabilité qui leur incombe dans l'effort international en faveur du développement durable, compte tenu des pressions que leurs sociétés exercent sur l'environnement mondial et des techniques et des ressources financières dont ils disposent* ».

La responsabilité s'exerce aux niveaux individuel et collectif. A l'échelle internationale, les États ont des responsabilités communes mais différenciées. Les pays développés doivent reconnaître leur responsabilité dans les crises internationales connues actuellement (pauvreté, pollution,...) et doivent faire des efforts pour les atténuer.

Exemple : Les pays riches, principaux responsables du changement climatique, s'engagent à des quotas de réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre en faisant payer une taxe aux industries qui polluent. La responsabilité induit d'autres applications comme le principe du pollueur-payeur, en fait celui de réparation des dommages causés.

2.5.4. Le principe de solidarité

La solidarité par le partage des ressources de la Terre est un principe fondamental du développement durable. Le principe de solidarité est formulé comme étant le vingt septième principe énoncé dans le cadre des principes de Rio:« *Les Etats et les peuples doivent coopérer de bonne foi et dans un esprit de solidarité à l'application des principes consacrés dans la présente Déclaration et au développement du droit international dans le domaine du développement durable* ». La solidarité se conçoit dans le temps et dans l'espace; les pays doivent partager les matières premières équitablement entre eux, en préservant des ressources aux générations futures. La solidarité doit exister entre les Etats, notamment entre les pays industrialisés et les pays en voie de développement, entre les peuples, entre les régions pauvres et les régions riches, entre milieu urbain et milieu rural ainsi qu'entre les générations. L'économie des matières premières constitue donc une nécessité pour respecter ce principe.

2.5.5. Le principe d'équité sociale

Le troisième principe de la déclaration de Rio s'énonce ainsi:« *Le droit au développement doit être réalisé de façon à satisfaire équitablement les besoins relatifs au développement et à l'environnement des générations présentes et futures.* »

Le principe d'équité est un des principes définissant le concept de développement durable. Il est implicite dans cette définition et se décline de deux manières relatives au temps et à l'espace. Il doit permettre la satisfaction des besoins essentiels des communautés humaines pour le présent et le futur, au niveau local, global et par l'amélioration de la qualité de vie.

Exemple: Accès pour tous à l'emploi, à l'éducation, aux soins médicaux, aux services sociaux, à un logement de qualité, ainsi que par le respect des droits et des libertés de la personne, par la participation des différents groupes de la société aux processus de prise de décision.

2.5.6. Le principe du pollueur-payeur

Ce principe est à la source un concept économique, il vise la prise en charge des dommages engendrés par le pollueur. Le seizième principe de la déclaration de Rio introduit cette notion de pollueur-payeur: *«Les autorités nationales devraient s'efforcer de promouvoir l'internalisation des coûts de protection de l'environnement et l'utilisation d'instruments économiques, en vertu du principe selon lequel c'est le pollueur qui doit, en principe, assumer le coût de la pollution»*. Comme son nom l'indique, ce principe prévoit que celui qui occasionne les dommages en termes de pollution soit également celui qui paie la dépollution.

Il est à l'origine de l'internalisation des coûts de pollution par les auteurs de la pollution par divers moyens :

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

Exemple : Actuellement il existe des taxes d'émission de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone et les oxyde de soufre. En Algérie, les écotaxes sont fixées par le décret exécutif n° 09-336 du 20 Octobre 2009 qui contient la liste des produits polluants et dangereux ainsi que les taxes correspondantes. Selon la loi algérienne n°03-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, toute personne portant atteinte à une aire protégée est sujette à un emprisonnement de dix jours à deux mois et une amende de mille dinars à cent mille dinars.

2.6. Quelques indicateurs du développement durable

L'indicateur de développement durable est une question récurrente depuis la conférence de Rio. C'est un outil de mesure du développement durable. Un indicateur est une donnée quantitative qui permet de caractériser une situation évolutive, de façon à évaluer et à

comparer un état à différentes dates. Dans certains cas, l'indicateur de développement durable peut être une donnée qualitative.

L'Agenda 21 encourage l'utilisation d'indicateurs de développement durable qui décrivent l'état actuel de l'économie, de l'environnement et de la société. L'indicateur peut aider à surveiller le progrès vers le développement durable et identifier où des améliorations doivent être apportées. Différentes séries d'indicateurs ont été produits en ce domaine.

2.6.1. Empreinte écologique et bio-capacité

- **L'empreinte écologique (EE)**

Cet indicateur a été inventé au début des années 1990 par Mathis Wackernagel et William Rees, spécialistes en planification. Il est actuellement développé et mis à jour par le Global Footprint Network (GFN), un réseau international qui assure l'amélioration des méthodes de calcul avec le but d'en faire une norme standard applicable aux produits, aux services ainsi qu'aux procédés de fabrication. L'empreinte écologique est un indicateur riche d'enseignements en matière de développement durable. La notion d'empreinte écologique a été utilisée pour démontrer que le mode de vie des pays occidentaux (dits développés) n'est pas pérenne, du fait que les ressources naturelles sont limitées. L'empreinte écologique est un modèle qui permet d'estimer la pression qu'exerce l'homme sur son environnement. Elle mesure « *la surface biologiquement productive nécessaire à une population pour maintenir son mode de vie à un niveau constant et subvenir à ses besoins* ». Soit, la nourriture, les matériaux de construction, le chauffage, l'air pur, l'eau potable, la gestion des déchets...

« Une surface biologiquement productive est une surface qui capte le soleil et l'utilise pour produire de la matière organique (ressource renouvelable par la photosynthèse) qu'elle consomme et absorber les déchets qu'elle génère en utilisant les technologies et les pratiques de gestion des ressources existantes ».

L'empreinte écologique EE est calculée en convertissant les consommations de certaines ressources et les productions de certains déchets en surfaces biologiquement productives.

La notion centrale de cette définition est celle de surface biologiquement productive, l'empreinte écologique se réfère en effet au sol: le sol disponible et l'usage qui en est fait. Ces surfaces de sol sont définies selon leur capacité de « *produire les ressources... et absorber les déchets...* ». Une expression qui nécessite quelques précisions :

- Le terme « ressource » englobe à la fois des ressources renouvelables (produits agricoles, y compris les produits de la pêche, fibres, bois, énergie hydraulique), une énergie non-renouvelable (l'énergie fossile) et les infrastructures

- Quant aux déchets que les surfaces doivent absorber, il s'agit uniquement des émissions de CO₂ provenant de la consommation d'énergie fossile. La consommation d'énergie fossile est en effet intégrée dans le calcul de l'EE comme un déchet à absorber et pas comme une ressource consommée.
- Bien que la définition laisse sous-entendre que l'EE prend en compte toutes les ressources (renouvelables et non-renouvelables) et tous les déchets, l'EE n'intègre que certaines ressources et certains déchets.

L'empreinte écologique est un indicateur synthétique agrégé. Elle permet de contrôler si l'économie humaine, qui puise dans les ressources naturelles, respecte ou non la capacité de régénération naturelle de la planète. Elle compare la quantité de ressources naturelles que l'homme consomme à la capacité pour la nature de les renouveler. Elle est calculée à partir d'un système de comptes qui additionne les consommations de plusieurs produits primaires, après les avoir exprimées dans une même unité conventionnelle. Unité appelée hectare global, soit un hectare biologiquement productif avec une productivité mondiale moyenne. Autrement dit, elle fait la somme de surfaces distinctes requises pour satisfaire la demande d'une population, en fournissant des ressources et en assimilant des déchets.

Cette empreinte correspond à la surface nécessaire au mode de vie d'une personne pour produire sa nourriture, les biens qu'elle consomme et pour absorber ses déchets. On peut ainsi étudier l'empreinte écologique d'un individu, d'une famille, d'une ville ou d'un pays, en ramenant le nombre d'hectares trouvé aux nombres d'individus concernés. On peut aussi effectuer des comparaisons entre individus, groupes d'individus ou pays. L'empreinte écologique d'une personne est calculée en intégrant toutes les ressources biologiques qu'elle utilise et tous les déchets qu'elle produit durant une année.

Le calcul se fait comme suit :

Totalité des matériaux utilisés par individu (tonne par an) / Superficie de terrains, forêt ou océan qui participe à l'assimilation des déchets = Nombres d'hectares.

Le nombre d'hectares issu de ce calcul est ensuite converti en hectares globaux. L'empreinte écologique d'un groupe d'individus ou d'une nation est obtenue en effectuant la somme de l'empreinte écologique de tous ses habitants.

Cette mesure tient compte de la production annuelle moyenne de toutes les terres biologiquement productives, ainsi que des surfaces maritimes. La surface biologiquement

productive de terre et d'eau de la planète est représentée par les terrains agricoles, les espaces de pêche, les forêts, les pâturages, les eaux douces. Les surfaces jugées non productives sont les déserts, les calottes glaciaires et les grands fonds océaniques. La surface biologiquement productive représente 25% de la superficie en terre et en eau, soit 11,3 milliards d'hectares. Le calcul de l'empreinte écologique prend en compte d'une part l'utilisation directe de l'espace pour les besoins de production (agricole, forestière, d'infrastructure...) et d'autre part l'utilisation indirecte de l'espace, en convertissant l'énergie consommée en surface boisée nécessaire à l'absorption des émissions de CO₂ provenant de cette consommation (Figure 22).

L'empreinte écologique prend en compte deux grandes catégories de pressions exercées par les modes de consommation et de production sur le capital environnemental:

- l'utilisation des surfaces de terres et d'eaux pour produire les ressources qui permettent de satisfaire une série de besoins: alimentation, habillement, logement, meubles en bois...
- l'utilisation des surfaces de forêts pour capturer le CO₂ émis lors de la consommation d'énergie fossile.

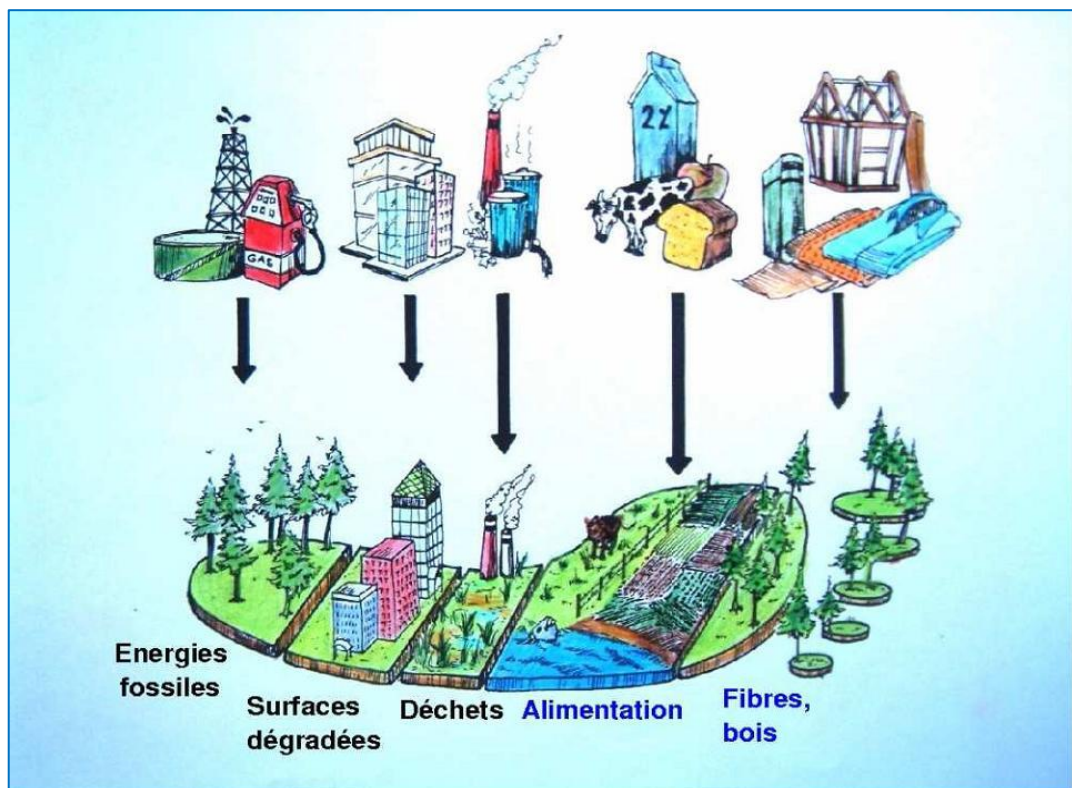


Figure 22 : Représentation de l'empreinte écologique

(Réf : <http://www.asso-iceb.org>)

Chacun des 8 milliards d'habitants de la terre ne devrait donc pas dépasser une empreinte écologique de 1,7ha, cette surface diminuant proportionnellement au fur et à mesure que la population augmente. Si l'humanité veut vivre de manière durable, l'empreinte écologique ne peut pas dépasser la surface bio-productive. Or ce chiffre global est dépassé depuis 1976. Pour produire par exemple un kilo de viande il faut 44,8 m² de surface bio-productive, soit environ 0,25% du crédit annuel de surface bio-productive disponible par personne. Aujourd'hui, chaque être humain de la planète utilise en moyenne 2,7 hag (hectares globaux). Cela signifie que 60% de ressources sont utilisés en plus de ce que la Terre peut fournir. La pression environnementale exercée par les pays industrialisés est largement supérieure au niveau soutenable. Ces pays ont une empreinte écologique 20 fois supérieure à celle des pays les moins développés (Figure 23).

L'empreinte écologique s'inscrit dans une démarche de développement durable : plus un pays est développé, plus son empreinte est forte car ce sont finalement les pratiques et les modes de vie qui influencent l'importance de l'empreinte écologique.

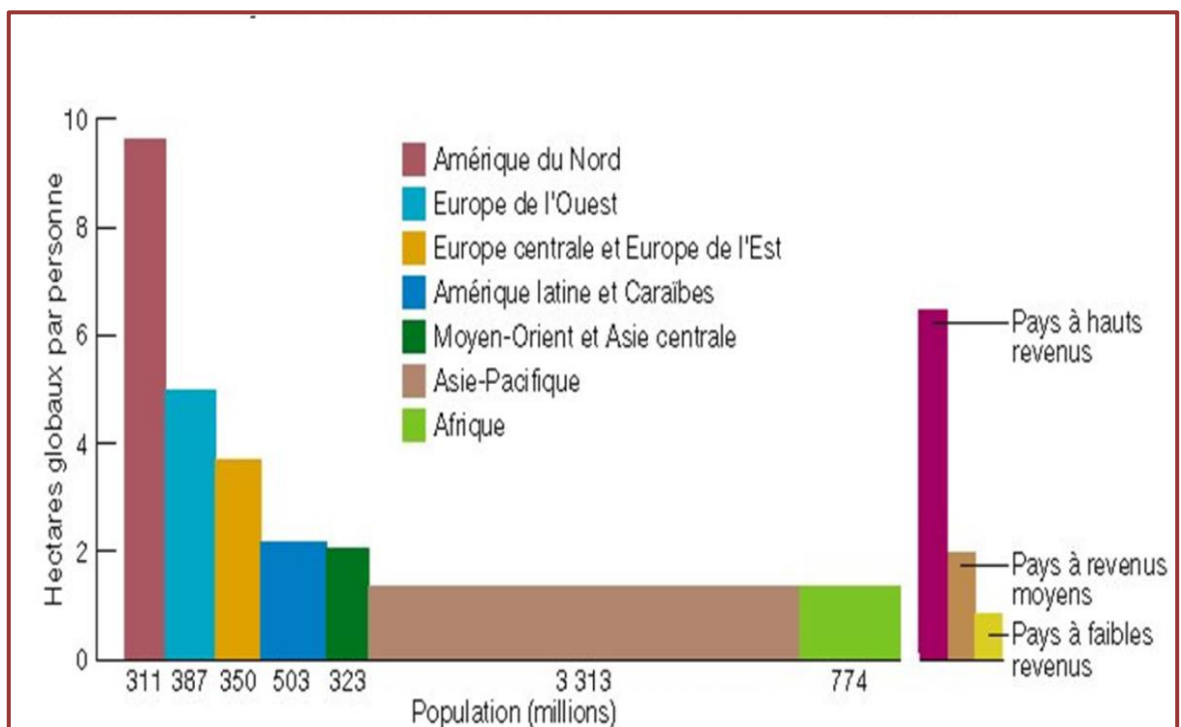


Figure 23 : Empreinte écologique par région et par groupe de revenus

(Réf : <http://www.futura-sciences.com>)

L'équivalent d'un peu plus d'une planète et demie est utilisé pour répondre à nos besoins. Ainsi, il est estimé qu'un Indien nécessite 0,9 hag pour maintenir son niveau de vie tandis qu'un Français a besoin de 4,9 hag, un Algérien de 1,65 hag et un Américain des Etats Unis 9,4 hag. Alors que le Qatar et les Émirats arabes unis ont une empreinte écologique par

personne supérieure à 8 hag, soit environ trois fois plus élevée que la moyenne mondiale et juste avant les Etats Unis (Figure 24).

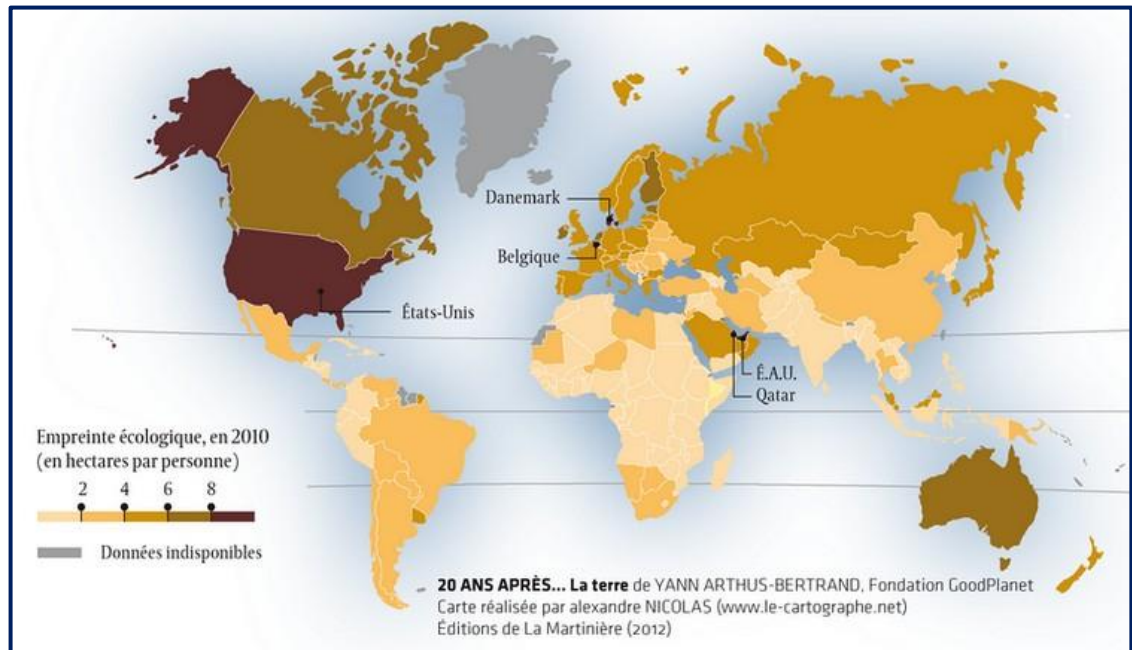


Figure 23 : Empreinte écologique par pays en hectare global par personne

(Réf : <http://www.le-cartographe.net>)

La figure ci-dessous présente le nombre de planètes qu'il faudrait à chaque pays pour subvenir aux besoins de sa population de manière durable. Le Congo aurait besoin d'une demi-planète, tandis que les États-Unis auraient besoin de 5 planètes. Autrement dit, l'empreinte écologique d'un Américain est au moins 10 fois plus élevée que celle d'un Congolais (Figure 24).

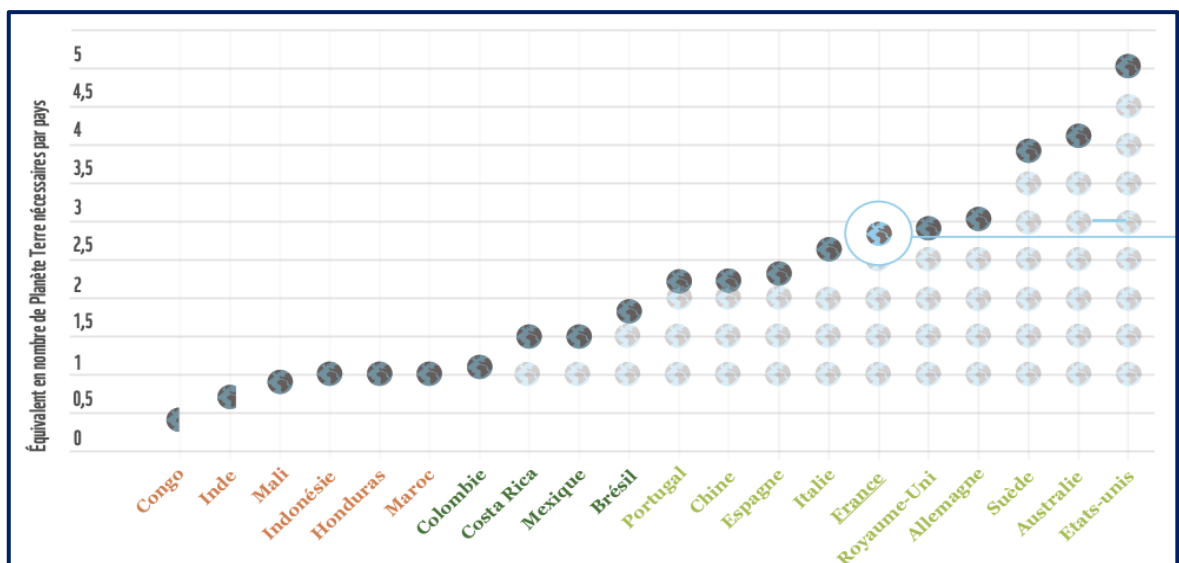


Figure 24 : Nombre de planètes Terre nécessaires par pays

(Réf : fr.statista.com)

Selon les données fournies par Statista Research Department en 2022, il semblerait que si les terriens vivaient comme les habitants du Qatar, il faudrait neuf planètes Terre pour subvenir à ses besoins. A titre de comparaison les habitants d'Algérie ont consommé l'équivalent d'une planète et demie la même année. La détermination de l'empreinte écologique montre que la capacité régénératrice de la Terre est insuffisante : l'homme transforme les ressources en déchets plus vite que la nature ne peut transformer ces déchets en ressources. La population mondiale utiliserait actuellement l'équivalent de 1,75 planète Terre chaque année.

- **Les biocapacités ou Capacités biologiques (BC)**

La capacité biologique ou BC est définie par le Global Footprint Network comme « *la capacité des écosystèmes de fournir des matières biologiques utiles et d'assimiler des déchets générés par les hommes en utilisant les modes de gestion et les technologies d'extraction existantes* ». Cette capacité peut être mesurée par les surfaces de terres et d'eaux capables de fournir des matières biologiques, appelées ressources ou ressources renouvelables. Ces surfaces sont dites « *biologiquement productives* ».

Une surface biologiquement productive est une surface qui capte le soleil et l'utilise pour produire de la matière organique (ou ressource renouvelable), par la photosynthèse. Ces surfaces sont caractérisées par un rendement qui mesure la quantité de produit primaire produite par unité de surface.

La biocapacité BC est un indicateur synthétique agrégé car elle est calculée à partir d'un système de comptes, comme une somme de surfaces biologiquement productives exprimées chacune en hectares et convertibles en une unité commune. Seulement 21% de la surface de notre planète est bio-productive (exploitable par l'homme).

Les composantes de la bio-capacité sont les suivantes:

- les terres arables,
- les pâturages,
- les forêts,
- les zones de pêche,
- les terrains construits.

Seules les zones marginales à végétation raréfiée et des zones non productives ne sont pas prises en compte. Ces surfaces biologiquement productives sont extrêmement variables dans leur nature et ont des rendements très hétérogènes. Par conséquent, pour pouvoir les

additionner et les comparer, elles sont exprimées en termes de surfaces de terres et d'eaux normalisées ayant un rendement moyen mondial et dont l'unité de mesure conventionnelle est appelée hectare global (hag).

Par exemple, l'utilisation de la tige et des feuilles du maïs pour produire de l'éthanol deviendrait des matières biologiques utiles, ce qui augmente significativement la biocapacité du maïs.

La surface bio-productive de la planète correspond à 11,9 milliards hag. Pour savoir à quelle surface chaque être humain aurait droit pour manger, se vêtir, se loger, se chauffer, se déplacer et absorber les émissions provenant de sa consommation d'énergie en hectare global par an, il faut donc diviser la surface bio-productive (11,9 milliards hag) par le nombre d'habitants de la Terre (8 milliards d'habitants), avec pour résultat le chiffre de 1,5. Ce qui signifie que chaque être humain aurait droit en théorie à 1,5 hag. Le dernier rapport *Planète Vivante* du WWF concluait que « *Les pays d'Europe occidentale, à forte empreinte écologique par personne et à population dense, sont tous des débiteurs, ce qui les place dans une situation insoutenable de dépendance et d'exploitation vis-à-vis des ressources du reste du monde* ».

Le Global Footprint Network définit deux catégories de pays en comparant leur empreinte écologique EE à leur biocapacité BC (Figure 25) :

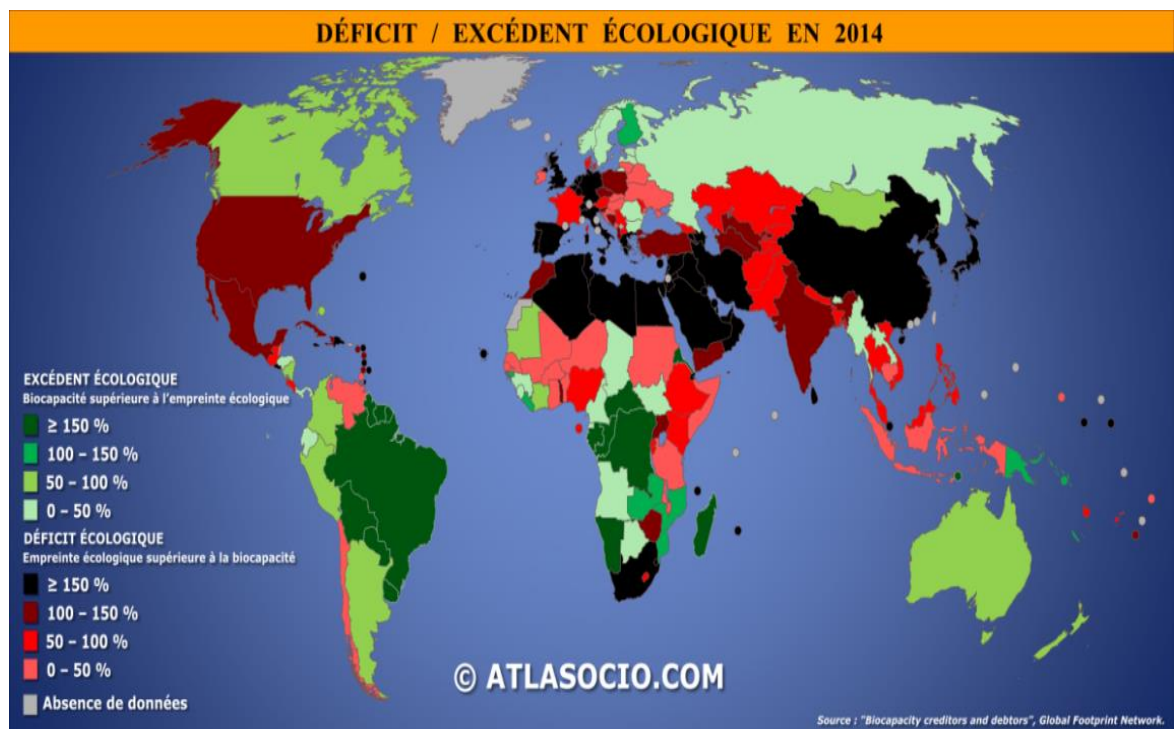


Figure 25 : balance écologique (déficit/excédent)

(Réf : <http://www.Atlasocio.com>)

- Des pays sont en situation de **réserve écologique** ou **d'excédent écologique** quand l'EE (demande) de leurs habitants est inférieure à leur BC (offre). Les pays dans cette situation sont qualifiés de **créditeurs**. Seulement 14 % de la population mondiale vit dans des pays à excédent écologique. Essentiellement en Afrique, en Asie, en Australie, au Brésil et dans une partie de l'Europe du Nord (Suède, pays baltes).
- Des pays sont en situation de **déficit écologique** quand l'EE de leurs habitants est supérieure à leur BC. Un tel déficit peut être lié soit à une dégradation du capital environnemental sur le territoire national, soit à une importation nette de BC au travers des échanges commerciaux, soit à une dégradation de l'environnement mondial due aux émissions de CO₂. Les pays en situation de déficit écologique sont qualifiés de **débiteurs**. L'Amérique du Nord et la plupart des pays développés sont en déficit écologique (Tableau 5).

Tableau 5 : Biocapacité/empreinte écologique de quelques pays en 2016(Réf : <https://fr.wikipedia.org>)

Rang	Pays	Empreinte écologique (hag/ hab)	Biocapacité (hag/hab)	Excédent ou déficit écologique (hag/hab)
1	<u>Luxembourg</u>	15,82	1,68	-14,14
53	<u>Suriname</u>	4,25	89,33	85,08
3	<u>Qatar</u>	10,8	1,24	-9,56
4	<u>Australie</u>	9,31	16,57	7,26
5	<u>États-Unis</u>	8,22	3,76	-4,46
6	<u>Canada</u>	8,17	16,01	7,83
22	<u>Finlande</u>	5,87	13,44	7,57
8	<u>Singapour</u>	7,97	0,05	-7,92
9	<u>Royaume-Uni</u>	7,93	0,56	-7,37
28	<u>Russie</u>	5,69	6,79	1,1
15	<u>Suède</u>	7,25	10,62	3,38
114	<u>Algérie</u>	2,12	0,59	-1,53

Pour réduire le déficit écologique d'une zone, il faut réduire l'empreinte écologique de la zone en agissant sur l'empreinte environnementale des organisations ou des produits dans cette zone et puis, augmenter sa biocapacité en accroissant la capacité agricole et la capacité forestière.

C'est dans les années 1980 que l'empreinte écologique de l'humanité a dépassé la biocapacité de la Terre. Les progrès techniques (intrants agricoles, irrigation...) depuis les années 1960 ont contribué à augmenter la capacité agricole par l'accroissement des rendements moyens par hectare des cultures, portant ainsi la biocapacité totale de la planète de 9,9 à 12 milliards d'hectares globaux (hag) entre 1961 et 2010. Mais la population humaine mondiale étant passée de 3,1 à près de 7 milliards d'habitants durant la même période, la biocapacité disponible par tête a été ramenée de 3,2 à 1,7 hag.

L'empreinte écologique mondiale est d'environ 18 milliards d'hectares globaux (hag), soit 2,7 hectares globaux par personne, alors que la biocapacité de la Terre n'était que de 11,9 milliards d'hag, ou 1,8 hag par personne, soit une surexploitation écologique de 50 %.

Il faudrait donc un an et demi pour régénérer les ressources consommées par l'homme et absorber le CO₂ produit. Il est estimé que 83 % de la population mondiale vit dans des pays où les habitants demandent plus que ce que leurs écosystèmes ne peuvent renouveler.

2.6.2. Indicateur d'impact sur l'environnement

Le développement durable dépend objectivement des contraintes du milieu, cependant ce paramètre est un facteur limitant pour le développement.

Un impact environnemental représente l'ensemble des modifications fonctionnelles, qualitatives et quantitatives de l'environnement engendrées par une action, une activité, un processus, un procédé, un produit, un organisme de sa conception jusqu'à sa fin de vie.

Les modifications peuvent être positives ou négatives, du point de vue de l'environnement. Positives par exemple : un rejet d'eau traitée, parfois de meilleure qualité que celle qui était puisée au départ. Négatives par exemple : un rejet d'eau polluée dans un ruisseau. L'impact environnemental peut être direct (les émissions de GES), indirect (l'utilisation de produits chimiques dangereux quand ils sont mélangés), ou les deux à la fois, par exemple : la production de déchets qui impactent la filière de collecte mais qui peuvent être polluants.

De manière générale, il y a un grand nombre d'impacts environnementaux identifiés dont les plus couramment cités et évalués sont repris dans la méthodologie ACV (Analyse de Cycle de Vie). Ils sont regroupés en deux catégories d'impacts environnementaux : épuisement des ressources et impact nocif sur l'homme et l'environnement.

Ces catégories d'impacts environnementaux comprennent des indicateurs d'impacts des épuisements des ressources fossiles, des ressources abiotiques, de la consommation d'eau, des indicateurs d'impacts, de l'effet de serre, de l'acidification de l'air, de l'oxydation photochimique... (Tableau 6).

Tableau 6 : Liste des impacts environnementaux utilisés en Analyse du Cycle de Vie

Catégories d'impacts	Enjeux environnementaux	Indicateurs d'impact
Epuisement des ressources	Epuisement des ressources non renouvelables	Consommation d'énergie Non Renouvelable (NR)
		Consommation de Ressources abiotiques
		Consommation d'eau
Effets nocifs	Réchauffement climatique	Effet de serre additionnel
	Diminution de la couche d'ozone	Concentration d'ozone stratosphérique
	Pollution de l'air	Acidification
		Pollution photochimique
	Pollution de l'eau	Eutrophisation
	Toxicité	Ecotoxicité aquatique
		Toxicité humaine
Production de déchets	Ecotoxicité terrestre	
		Déchets solides

Les principaux indicateurs d'impacts environnementaux couramment utilisés en Analyse de Cycle de Vie (ACV) sont les suivants :

- **Indicateur de consommation des énergies non renouvelables (NR)**

Les énergies non renouvelables peuvent être classées en deux grandes familles :

- **Les combustibles fossiles** (charbon, pétrole, gaz naturel) qui ont une vitesse de régénération extrêmement lente à l'échelle humaine. En même temps, leur consommation est intensive, de sorte que les risques d'épuisement à moyen terme sont avérés.
- **L'énergie nucléaire** est essentiellement basée sur la fission nucléaire, elle-même dépendante de l'uranium qui est en quantité limitée sur terre. La quantité d'uranium disponible ne dépasse pas plusieurs siècles et probablement bien moins encore.

Un combustible fossile est caractérisé par son aptitude à fournir de l'énergie par combustion complète. Cette propriété physique s'exprime en Joules/kg ou en méga-Joules/kg.

L'indicateur « consommation d'énergie non renouvelable » exprime la quantité totale d'énergie fossile consommée sur tout le cycle de vie du produit. Selon la définition de cette énergie primaire par les organismes internationaux, le calcul de cet indicateur prend donc en compte les énergies issues des combustibles fossiles dont le seuil de « raréfaction ».

Ainsi, la consommation d'énergie non renouvelable conduit à un épuisement des ressources et donc à un impact environnemental potentiel qu'il convient d'estimer.

L'unité utilisée pour caractériser cet impact est le Joule (J) ou le méga-Joule (MJ) exprimée en méga-Joule équivalent (MJ éq.)

- **Consommation des ressources rares (épuisement des ressources abiotiques)**

Cet indicateur, tient compte des consommations de ressources énergétiques ou non énergétiques en caractérisant chaque ressource par un coefficient correspondant à un indice de rareté.

Tout comme les énergies fossiles, les ressources utilisées dans l'industrie manufacturière qualifiées de rares (au sens d'épuisables) sont en quantité finie sur terre. Toute activité qui désire quantifier ces impacts sur l'environnement devra donc renseigner cet indicateur directement basé sur la quantité de matières premières utilisées (minerais).

L'indicateur exprime la quantité de matières « rares » consommée sur l'ensemble du cycle de vie d'un produit. Le calcul correspond à la quantité (masse) de matières « rares », contenue dans les minerais. Afin de pouvoir sommer les impacts, toutes les matières premières sont converties en « impact équivalent » d'un minerai-type. Le minerai choisi pour la comparaison est l'antimoine (Sb) qui se trouve le plus souvent à l'état naturel sous forme de sulfure combiné ou non avec d'autres métaux (plomb, cuivre, argent).

Une valeur supérieure à 1 pour une ressource indique que l'on consomme une ressource plus rare que l'antimoine. Les ressources dont la valeur de l'indicateur est très faible (inférieure à 0,001) sont considérés comme non épuisables à l'échelle humaine. Donc, plus cet indicateur est grand plus le produit "épuise" les ressources.

L'unité utilisée pour caractériser cet impact est le kilogramme d'équivalent antimoine (kg Sb éq.)

- **Consommation d'eau**

Cet indicateur reprend le total de l'eau consommée sur le cycle de vie (toutes sources confondues). La quantification de cet impact peut sembler facile puisqu'il suffit de l'exprimer en m³. Cependant, la notion de volume d'eau utilisé, ramené à une moyenne globale et/ou à un seuil de raréfaction comme pour les ressources énergétiques et abiotiques, n'est pas aisée à manipuler puisque l'impact est en réalité très dépendant de la ressource locale et des conditions d'approvisionnement.

Toutes les utilisations de l'eau ne sont donc pas équivalentes et ne peuvent pas être comparées.

- **Effet de serre additionnel**

Cet indicateur sert à évaluer la contribution du produit à l'augmentation de la teneur de l'atmosphère en gaz à effet de serre additionnel. Les effets de ces gaz sont essentiellement induits par une quantité donnée de gaz carbonique, principalement issu de la combustion anthropiques des ressources fossiles. L'augmentation de l'effet de serre entraîne des modifications du climat de la Terre et notamment une augmentation de la température moyenne, d'où le nom de l'indicateur. L'indicateur choisi pour quantifier l'impact environnemental exprime le potentiel d'effet de serre additionnel qu'engendre un produit sur l'ensemble de son cycle de vie.

Ce modèle caractérise les émissions dans l'air du produit susceptible de participer directement au potentiel de réchauffement climatique global (*Global Warming Potential*) à l'horizon 100 ans.

Cet indicateur est le dioxyde de carbone (gaz carbonique CO₂), il regroupe toutes les émissions de gaz à effet de serre. Un kilogramme de méthane (CH₄) contribue 25 à 30 fois plus à l'effet de serre qu'un kilogramme de CO₂, et un kilogramme de protoxyde d'azote (N₂O) 310 fois plus. Certains gaz contribuent plusieurs milliers de fois plus que le CO₂ à l'effet de serre pour chaque kilogramme émis. L'effet de chacun de ses gaz est, en plus, lié à sa rémanence atmosphérique, spécifique à chacun d'eux : une dizaine d'années pour le méthane mais de l'ordre d'un siècle pour le dioxyde de carbone.

L'unité utilisée pour caractériser cet impact est le kilogramme d'équivalent dioxyde de carbone (kg CO₂ éq.).

- **Destruction de la couche d'ozone stratosphérique**

Cet indicateur cherche à évaluer la contribution du produit à la destruction de la couche d'ozone dite stratosphérique. L'ozone O₃ est un gaz présent dans l'atmosphère avec une plus grande concentration dans la stratosphère (entre 8-18 km et 50 km d'altitude) où il forme une couche (partie haute de l'atmosphère intérieure). Environ 93% de l'ozone l'atmosphérique se trouve dans la stratosphère mais les quantités restent faibles (8 ppm). Tout l'ozone de l'atmosphère ramené à la pression au sol formerait une couche de 4 mm d'épaisseur. Par ailleurs, l'ozone joue un rôle de filtrage des rayons ultraviolets dangereux (UV-B), issus du rayonnement solaire et nocifs pour les écosystèmes.

L'émission des chlorofluorocarbures (CFC), qui sont stables et fortement volatils, conduit à une diminution de la concentration en ozone dans cette « couche » (trou de la couche d'ozone) par formation d'oxyde de chlore ClO.

Cet indicateur se calcule en agrégeant les émissions dans l'air des composés susceptibles de réagir avec l'ozone de la stratosphère : les chlorofluorocarbures: CFC, HCFC. La molécule de référence est le CFC11.

L'unité utilisée pour caractériser cet indicateur s'exprime en kilogramme d'équivalent chlorofluorocarbures 11(kg CFC11éq.).

- **Formation d'ozone photochimique (ozone troposphérique)**

Alors que l'ozone stratosphérique est bénéfique parce qu'il filtre les UV à haute altitude, l'ozone situé dans la troposphère, dit ozone troposphérique ou ozone de basse altitude, est en fait un polluant majeur de l'air nocif pour l'homme, la faune, et la flore.

La quasi-totalité de l'ozone troposphérique est d'origine anthropique. Seule une faible part est naturellement produite au-dessus des zones forestières, ou après des incendies de forêt. Les émissions directes d'ozone par des activités humaines sont rares (génération d'ozone à proximité des lignes haute tension l'été ou production par les moteurs électriques par exemple). Au contraire, l'essentiel de la pollution par l'ozone résulte de phénomènes complexes.

L'ozone troposphérique n'apparaît pas directement mais suite à la production de précurseurs d'ozone sous l'effet d'un rayonnement solaire intense. Cette pollution est donc qualifiée de photochimique, elle n'apparaît que par de fortes chaleurs.

Les précurseurs d'ozone en cause sont les Composés Organiques Volatils (COV) générés notamment par l'industrie et les oxydes d'azote (NO_x), en particulier le dioxyde d'azote NO_2 émis par l'échappement des véhicules à moteur thermique.

Cet indicateur sert donc à évaluer la contribution des émissions dans l'air de composés susceptibles de participer à la formation d'ozone troposphérique. L'ozone résulte de la transformation chimique de l'oxygène au contact d'oxydes d'azote et d'hydrocarbures, sous l'effet du rayonnement solaire et d'une température élevée (phénomène de smog photochimique ou « pics d'ozone »).

La molécule de référence pour cet indicateur est l'acétylène (C_2H_2), exprimé en kilogramme d'équivalent acétylène (kg C_2H_2 éq.).

- **Acidification atmosphérique**

L'acidification de l'atmosphère est liée aux émissions : dioxyde de soufre SO_2 (procédés industriels); oxydes d'azote NO_x (transports et industrie); gaz carbonique CO_2 (combustibles fossiles). Ces gaz réagissent avec l'eau pour former de l'acide sulfurique, de l'acide nitrique ou encore de l'acide carbonique. Ces polluants se retrouvent alors dans les

« pluies acides » dont les conséquences sont la dégradation des forêts, l'altération des sols, la pollution de la nappe phréatique, l'acidification des lacs et la disparition de la faune aquatique, ou encore la dégradation (par corrosion) des matériaux. Une pluie est dite acide si son Ph est inférieur à 5,6.

Pour quantifier l'impact d'acidification, il convient de mettre en place un indicateur commun pour toutes les sources d'acidification. L'idée est d'exprimer le potentiel d'acidification qu'engendre un produit donné sur l'ensemble de son cycle de vie.

L'indicateur commun est la quantité équivalente de dioxyde de soufre qui produit le même effet sur l'environnement. Cet indicateur est construit comme l'indicateur de changement climatique en prenant pour référence la contribution à l'acidification du SO₂ (valeur 1 du coefficient d'agrégation).

Il est exprimé en kilogramme d'équivalent de dioxyde de soufre (kg SO₂ équ.).

- **Eutrophisation des écosystèmes**

L'eutrophisation est un phénomène de réduction drastique de la biocénose d'un écosystème, résultant de son appauvrissement progressif mais important et inéluctable en oxygène. Il concerne des eaux douces mais également les eaux saumâtres et salées, peu renouvelées (Figure 26).



Figure 26 : Eutrophisation d'un ruisseau

(<https://planet-vie.ens.fr>)

Ce processus est principalement dû aux épandages agricoles très riches en engrais azotés et phosphorés et aux rejets industriels et urbains (eaux usées) riches en nitrates, en ammonium, en matières organiques, en phosphates...Le processus se déroule comme suit :

- Des nutriments sont déversés en grande quantité dans le milieu aquatique qui enrichissent considérablement le milieu en substances nutritives en minéraux.

- Les eaux ainsi enrichies entraînent une prolifération considérable d'algues spécifiques qui une fois morts sédimentent en masses organiques.

La décomposition de cette matière organique en excès provoque la prolifération de bactéries et d'archées anaérobies qui dégradent ces dépôts polluants et finissent par consommer tout l'oxygène dissout du milieu, qui est transformé en écosystème anoxique. Il en résulte à terme la mort de tous les organismes aquatiques aérobies : végétaux, insectes, crustacés, poissons. L'indicateur choisi pour quantifier cet impact exprime le potentiel d'enrichissement des eaux en nutriments engendré par le produit considéré sur l'ensemble de son cycle de vie. L'indicateur utilisé pour caractériser cet impact est le kilogramme d'équivalent phosphate ($\text{kg PO}_4^{3-}\text{éq.}$).

- **Ecotoxicité aquatique**

La pollution de l'eau est un enjeu majeur en matière de protection de l'environnement. Ainsi comme il a été décrit précédemment une pollution par des nutriments peut produire une eutrophisation et à terme une destruction du biotope. Un autre type de dégradation est la pollution par les produits chimiques, en particulier les produits phytosanitaires (antifongiques, pesticides, herbicides, ...). Ces produits pénètrent dans le sol et se retrouvent dans les eaux souterraines. Il existe également une pollution par les métaux lourds (plomb, mercure, arsenic, cadmium,...) provenant des activités humaines industrielles (fonderies, incinérateurs, ...) ou des transports.

L'indicateur utilisé pour quantifier l'impact sur les écosystèmes aquatiques exprime le potentiel d'écotoxicité dans l'eau douce que génère un produit considéré sur l'ensemble de son cycle de vie. L'horizon de temps choisi est de 100 ans. Afin de pouvoir comparer les impacts de plusieurs produits incriminés, la substance toxique « étalon » de référence est le dichlorobenzène.

L'unité utilisée pour caractériser cet impact est le kilogramme d'équivalent dichlorobenzène (kg 1,4 DCB éq.).

- **Toxicité humaine**

C'est la capacité inhérente à une substance chimique de produire des effets nocifs chez un organisme vivant qui est en fait une substance toxique. L'effet toxique peut toucher de nombreux organes (yeux, système digestif, reins, poumons, cerveau...) et se traduire par de multiples affections plus ou moins graves (irritation, dépression, essoufflement, œdèmes, maux de tête ...). Les polluants cités dans l'écotoxicité aquatique sont pour une bonne partie les mêmes qui impactent directement l'homme. En particulier la pollution par les métaux

lourds (plomb, mercure, arsenic, cadmium, ...) due aux émissions provenant des activités humaines domestiques et industrielles.

L'indicateur utilisé pour quantifier la toxicité humaine exprime le potentiel de toxicité que génère un produit considéré sur l'ensemble de son cycle de vie. Il décrit le devenir, l'exposition et les effets de substances toxiques sur l'homme pour un horizon de 100 ans. Afin de pouvoir comparer les impacts de plusieurs substances incriminées, le choix est de se référer à une substance toxique donnée comme étalon, qui est souvent le dichlorobenzène. L'indicateur utilisé pour caractériser cet impact est le kilogramme d'équivalent dichlorobenzène (kg 1,4 DCB éq.).

- **Ecotoxicité terrestre**

Les molécules et les substances impliquées dans l'écotoxicité aquatique et la toxicité humaine sont aussi des polluants des sols qui se retrouvent dans des zones industrielles. D'autres substances, comme les polychlorobiphényles (PCB) ou les substances ionisantes, peuvent contaminer le sol. Ces polluants dégradent l'écosystème terrestre mais peuvent aussi dégrader les eaux souterraines par infiltration dans les sols. Si un tel sol est remis en culture ou en pâturage, ces substances nocives vont se retrouver dans la chaîne alimentaire. L'indicateur choisi pour déterminer l'impact en terme d'écotoxicité terrestre est identique à ceux utilisés pour l'écotoxicité aquatique, à savoir le dichlorobenzène (kg 1,4 DCB éq.).

- **Déchets solides**

L'augmentation régulière de production de déchets solides est une conséquence regrettable du développement économique.

La façon de traiter les déchets est complexe et dépend notamment du type de déchet produit.

Il existe trois grandes catégories de déchets :

- Les déchets ménagers et municipaux qui regroupent l'ensemble des déchets dont l'élimination est assurée par les collectivités.
- Les déchets industriels comprenant les déchets Industriels Banals non dangereux issus des activités économiques proche de celle des ordures ménagères, les déchets Industriels Spéciaux composés d'éléments toxiques ou dangereux, les Déchets Toxiques en Quantités Dispersées de même nature que les déchets Industriels Banals mais produits en faibles quantités et les déchets inertes qui sont des déchets minéraux. Ces derniers ne sont pas susceptibles d'évolution physico-chimique ou biologique, à ce titre, ils ne présentent pas de risque de pollution pour les sols et les eaux.

- Les déchets organiques issus de l'agriculture et des industries agro-alimentaires.

Indépendamment des stratégies de collecte, la meilleure façon de gérer la question des déchets n'est pas seulement de bien les traiter mais de ne pas en produire, ou d'en produire le moins possible. Ainsi, un processus visant à diminuer l'impact environnemental peut avoir pour objectif de diminuer la quantité de déchets générés pour un produit ou une activité tout au long de son cycle de vie. Cette quantité est exprimée en kilogrammes de déchets solides (secs), mais rien n'empêche de mettre en avant un indicateur par type de déchet produit. La valorisation des déchets peut aussi entrer en compte dans l'indicateur choisi.

2.6.3. Indice de Performance Environnementale (IPE)

Un indicateur de performance environnementale est un outil qui fournit des informations sur les progrès réalisés par l'entreprise en matière d'environnement. C'est un indice qui est créé pour évaluer, comparer et améliorer l'efficacité des politiques environnementales. C'est un classement mondial de l'efficacité et de la priorité avec lesquelles les pays du monde perçoivent et gèrent les problèmes environnementaux.

L'Indice de Performance Environnementale (IPE) a été élaboré par un groupe de scientifiques provenant d'universités prestigieuses, telles que Yale et Columbia. Il analyse 40 indicateurs de performance, comme les niveaux de particules et les émissions de gaz à effet de serre prévues et répartis en 11 catégories, dont la qualité de l'air et l'atténuation du changement climatique.

Ces indicateurs sont ensuite utilisés pour classer les 180 pays en fonction de leurs « *progrès en matière d'amélioration de la santé environnementale, de protection de la vitalité des écosystèmes et d'atténuation du changement climatique* ». Selon le rapport, la méthodologie a été affinée au cours de deux décennies et elle s'appuie sur les données les plus récentes (Figure 27).

L'indice couvre deux domaines majeurs d'approche : la protection de la santé publique contre les risques environnementaux et la protection des écosystèmes. La valeur de chaque indicateur est comprise entre 0 (performance la plus faible) et 100 (performance la plus élevée). Il est demandé au gouvernement de chaque pays de fournir une preuve des moyens mis en place pour améliorer les contrôles de la qualité de l'air et de la gestion des ressources environnementales. L'indice montre notamment les progrès dans le monde sur les questions de santé, d'accès à l'eau potable et d'assainissement depuis 2000, mais il s'alarme de la dégradation rapide de la qualité de l'air (NO₂) et de celle des stocks de poissons.

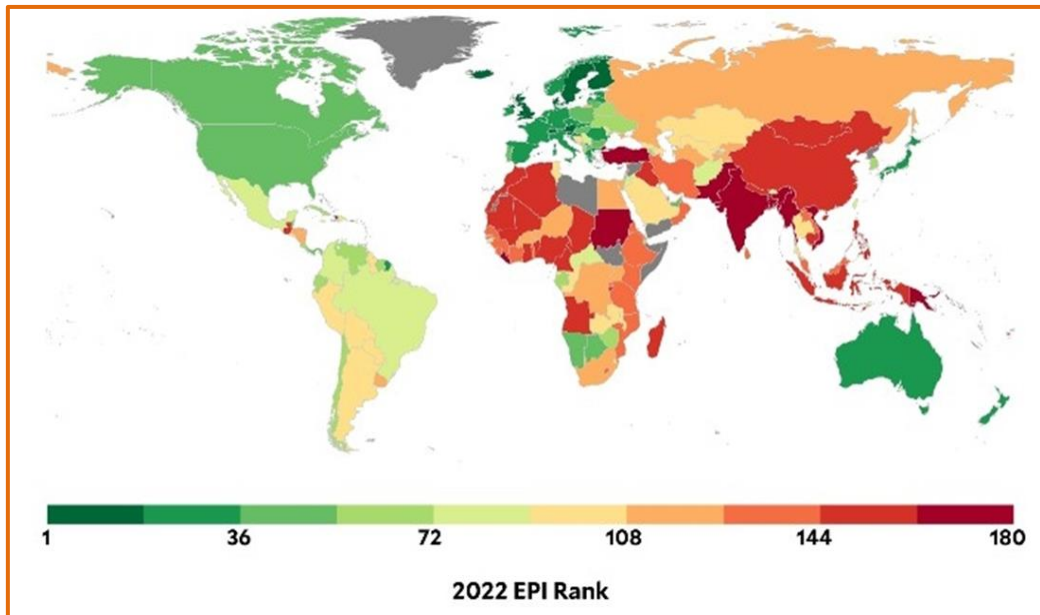


Figure 27 : Carte du monde en fonction de l'Indice de performance environnementale 2022
(Réf : <https://lepetitjournal.com>)

Selon le rapport, développé par l'Université de Yale, « la qualité de l'air reste la principale menace environnementale pour la santé publique. Les problèmes de pollution de l'air sont particulièrement graves dans les pays en voie d'industrialisation, tels que la Chine et l'Inde ». La pollution de l'air reste une problématique importante en matière de santé publique et serait responsable des deux tiers des décès et des maladies de source environnementale. Elle est particulièrement présente dans les pays qui connaissent une urbanisation rapide comme la Chine et l'Inde.

Le rapport souligne également que dans la majeure partie des pays concernés par l'IPE, il est constaté une amélioration au niveau de la protection des écosystèmes marins et terrestres. L'émission de gaz à effets de serre a baissé : une grande partie des 180 pays sont parvenus à réduire leurs émissions de gaz carbone et d'autres polluants (méthane, monoxyde d'azote et de carbone) au cours de ces dix dernières années.

Un classement officiel est ensuite publié afin d'encourager les pays les plus écoresponsables et de rappeler à l'ordre ceux qui ne le sont pas.

Les états qui possèdent les indices de performance environnementale les plus élevés en 2022 sont le Danemark, le Royaume-Uni, la Finlande, Malte et la Suède (Tableau 7).

L'Algérie occupe la 155^{ème} place du classement alors qu'elle était à la 88^{ème} place en 2018. Elle enregistre une chute extraordinaire dans le classement mondial en IPE. Le pays ayant les plus faibles performances en 2022 est l'Inde qui occupe la dernière place dans le rang mondial (180^{ème}).

Tableau 7 : Classement de certains pays selon les scores de l'IPE en 2022(Réf : <https://epi.yale.edu/epi-results/2022/component/epi>)

Pays	Classement	Score de l'IPE en 2022
Danemark	1	77.90
Grand Bretagne	2	77.70
Finlande	3	76.50
Malte	4	75.20
Suède	5	72.70
Luxembourg	6	72.30
Slovénie	7	67.30
Autriche	8	66.50
Suisse	9	65.90
France	12	62.50
Allemagne	13	62.40
Etats Unis	43	51.10
Tunisie	96	40.70
Arabie Saoudite	109	37.90
Russie	112	37.50
Algérie	155	29.60
Chine	160	28.40
Maroc	160	28.40
Nigeria	162	28.30
Irak	169	27.80
Inde	180	18.90

Selon cet indice, quatre pays - la Chine, l'Inde, les États-Unis et la Russie- représenteront plus de 50 % des émissions mondiales résiduelles de gaz à effet de serre en 2050 si les tendances actuelles se maintiennent et 24 pays seront responsables de près de 80 % des émissions de 2050, à moins que les décideurs ne renforcent les politiques climatiques et que changent les profils des émissions.

Seuls quelques pays - dont le Danemark et le Royaume-Uni - sont actuellement en mesure d'atteindre la neutralité en matière de gaz à effet de serre, d'ici 2050. De nombreux autres pays sont sur la mauvaise voie, alors qu'une augmentation rapide des émissions de gaz à effet de serre est observée dans les grands pays comme la Chine, l'Inde et la Russie.

L'analyse des données montre que les ressources financières, la bonne gouvernance, le développement humain et la qualité de la réglementation jouent un rôle important dans l'amélioration de la durabilité d'un pays.

Les rapports de l'IPE paraissent tous les deux ans, chaque année depuis maintenant 20 ans et des progrès sont faits afin d'améliorer les analyses de l'IPE. Ces améliorations permettent de

cibler les problèmes environnementaux propres à chaque pays et de déterminer avec précision les actions à mener pour un futur plus propre et durable.

2.6.4. Indice développement humain (IDH)

L'Indice de Développement Humain (IDH) est un indicateur synthétique et composite, développé en 1990 par l'économiste Pakistanais Mahbubul Haq et s'inspiré des travaux du Prix Nobel indien Amartya Sen. L'IDH permet de mesurer le niveau de développement réel d'un pays. Depuis 1990, le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), l'une des agences de l'ONU, publie chaque année un rapport annuel sur l'état du développement humain dans le monde, assorti d'un indicateur de développement humain pour chaque pays. L'IDH est basé sur des données plus qualitatives. C'est un indicateur qui fait la synthèse de trois séries de données :

- la *longévité* (l'espérance de vie à la naissance), mesure indirectement la satisfaction des besoins matériels essentiels tels que l'accès à une alimentation saine, à l'eau potable, à un logement décent, à une bonne hygiène et aux soins médicaux.
- le *niveau d'éducation* (taux de scolarisation et d'alphabétisation), il est mesuré par la durée moyenne de scolarisation pour les adultes de plus de 15 ans et la durée attendue de scolarisation pour les enfants d'âge scolaire. Il appréhende la satisfaction des besoins immatériels tels que la capacité à participer aux prises de décision sur le lieu de travail ou dans la société.
- le *niveau de vie* (repose initialement sur le PIB produit intérieur brut par habitant avant d'être remplacé par le revenu brut par habitant en parité de pouvoir d'achat), il englobe la qualité de vie de la population nationale telle que la mobilité ou l'accès à la culture.

Cet indice composite du PNUD se présente comme un nombre sans unité, il est compris entre 0 et 1. Plus l'IDH se rapproche de 1, plus le niveau de développement du pays est élevé. Le rapport est sanctionné par un classement annuel des pays selon le niveau de leur IDH. Entre 2015 et 2018, l'IDH du monde a progressé, passant de 0,717 à 0,731. Le PNUD a classé en plusieurs groupes les pays selon un intervalle défini de leur IDH :

- Développement humain très élevé avec un IDH compris entre : 0,800–1 ;
- Développement humain élevé avec un IDH compris entre : 0,700–0,799 ;
- Développement humain moyen avec un IDH compris entre: 0,550–0,699 ;
- Développement humain faible avec un IDH compris entre: 0,000–0,549.

Ce qui compte le plus dans l'IDH, est le rang du pays dans le classement mondial. En tête du classement se trouve la plupart des grands pays développés. Le PNUD a publié, en 2022 une nouvelle édition de son classement mondial des pays, par indice de développement humain (IDH).

La tête du classement mondial est occupée par la Suisse, suivie respectivement par la Norvège et l'Islande. Ces pays sont classés dans la catégorie des IDH « très élevés » alors que le Soudan du sud, le Tchad, le Niger, la République centrafricaine, le Burundi, le Mali, le Mozambique et le Burkina Faso, viennent en bas du classement dans la catégorie des IDH « Faibles » (Tableau 8).

Au niveau des pays développés, c'est la Suisse qui apparaît comme le pays le plus développé par son IDH de 0,962. La Norvège et l'Islande sont complètement sur le podium, avec un IDH respectif de 0,961 et 0,959.

Selon la nouvelle mise à jour du classement en Afrique, l'Algérie arrive au 3^{ème} rang continental (91^{ème} place mondiale) derrière les Seychelles, 72^{ème} rang mondial avec un IDH « élevé ». La 1^{ère} place au niveau continental revient à l'Île Maurice qui occupe la 63^{ème} place mondiale, c'est le seul pays du continent qui se situe dans la catégorie des pays ayant un IDH « très élevé » (Tableau 8).

L'Afrique est considérée comme la région à l'IDH le plus faible au monde (0,547). L'Algérie devance l'Égypte (97^{ème}), la Tunisie (97^{ème}) et l'Afrique du Sud (109^{ème}). Ces pays sont classés dans la catégorie des IDH « élevés ». L'Algérie devance également le Maroc (123^{ème}) classé dans la catégorie des IDH « moyen »

Ainsi, un seul pays africain est classé dans la catégorie des IDH « très élevés ». Sept pays africains se classent dans la catégorie des IDH « élevés », 17 sont dans la catégorie des IDH « moyens », tandis que 28 des pays africains étudiés dans le rapport se classent tous dans la catégorie des IDH « faibles ».

Selon le PNUD, 59% des pays ayant un IDH faible ou moyen, dont plusieurs en Afrique, ont vu leurs performances en matière d'IDH décliner entre 2020 et 2021. Ces chiffres descendent à 61% pour les pays ayant un IDH élevé et à seulement 33% pour ceux ayant un IDH très élevé. Bien qu'en 2021 l'institution ait noté une certaine reprise au niveau mondial, elle a été partielle et inégale.

La plupart des pays à IDH très élevé ont enregistré des améliorations, tandis que la plupart des autres ont connu des baisses continues.

L'Afrique subsaharienne cumule un score d'IDH moyen de 0,5 sur 1, contre une moyenne mondiale de 0,7, faisant d'elle la région la moins bien classée au monde.

Tableau 8 : Classement 2021/2022 des pays africains selon l'IDH(Réf : <https://www.agenceecofin.com>)

Rang (Afrique)	Pays	Rang (Mondial)	Catégorie (IDH)
1	Maurice	63	Très élevé
2	Seychelles	72	Elevé
3	Algérie	91	Elevé
4	Egypte	97	Elevé
4	Tunisie	97	Elevé
6	Libye	104	Elevé
7	Afrique du Sud	109	Elevé
8	Gabon	112	Elevé
9	Botswana	117	Moyen
10	Maroc	123	Moyen
11	Cap-Vert	128	Moyen
12	Ghana	133	Moyen
13	Sao Tomé-et-Principe	138	Moyen
14	Namibie	139	Moyen
15	Eswatini	144	Moyen
16	Guinée Equatoriale	145	Moyen
17	Zimbabwe	146	Moyen
18	Angola	148	Moyen
19	Cameroun	151	Moyen
20	Kenya	152	Moyen
21	Congo	153	Moyen
21	Zambie	154	Moyen
23	Comores	156	Moyen
24	Mauritanie	158	Moyen
25	Côte d'Ivoire	159	Moyen
26	Tanzanie	160	Faible
26	Togo	162	Faible
28	Nigeria	163	Faible
29	Rwanda	165	Faible
30	Bénin	166	Faible
30	Ouganda	166	Faible
32	Lesotho	168	Faible
33	Malawi	169	Faible
34	Sénégal	170	Faible
35	Djibouti	171	Faible
36	Soudan	172	Faible
37	Madagascar	173	Faible
38	Gambie	174	Faible
39	Ethiopie	175	Faible
39	Erythrée	176	Faible
41	Guinée Bissau	177	Faible
42	Liberia	178	Faible
43	RDC	179	Faible
44	Sierra Léone	181	Faible
45	Guinée	182	Faible
46	Burkina Faso	184	Faible
46	Mozambique	185	Faible
48	Mali	186	Faible
49	Burundi	187	Faible
50	Centrafrique	188	Faible
51	Niger	189	Faible
52	Tchad	190	Faible
53	Soudan du Sud	191	Faible

L'indice du développement humain L'IDH dépend de plusieurs facteurs :

- **Du progrès du développement humain**

Selon le plus récent Indice de développement humain, la différence d'espérance de vie entre les pays des catégories « développement humain très élevé » et « développement humain faible » est de 19 ans, tandis que la différence de durée de scolarisation est de 7 ans. Des inégalités de bien-être menacent la pérennité des progrès du développement humain.

Les évolutions vers le haut ou le bas de l'IDH dépendent des changements survenus dans les domaines de la santé, de l'éducation et du revenu. Les progrès considérables en matière de santé sont marqués par l'allongement moyen de l'espérance de vie à la naissance, de presque sept ans à l'échelle mondiale.

En Afrique subsaharienne et en Asie du Sud, l'espérance de vie s'est allongée d'environ 11ans depuis 1990. Par ailleurs, les enfants d'âge scolaire peuvent aujourd'hui prétendre à 3,4 années de scolarisation de plus qu'en 1990.

- **Des inégalités inter- et intra-nationales**

Les inégalités inter et intra-nationales continuent de freiner le progrès. Un enfant né aujourd'hui en Norvège, en 2^{ème} place du classement selon l'IDH, a de bonnes chances de vivre plus de 82 ans et de rester dans le système éducatif pendant au moins 18 ans. Un enfant né au Sud Soudan, en dernière place du classement, a peu de chances de vivre plus de 60 ans et d'être scolarisé plus de cinq ans.

L'Indice de développement humain ajusté aux inégalités permet de comparer les niveaux d'inégalités intra-nationales : plus ce niveau est élevé, plus l'IDH d'un pays diminue. Les pays à développement humain moyen et faible perdent respectivement 31 et 25% de leur niveau de développement humain en raison des inégalités, tandis que la perte moyenne est de 11% pour les pays à développement humain très élevé.

- **Des inégalités femmes-hommes**

L'IDH moyen pour les femmes, à l'échelle mondiale, est inférieur de 6 % par rapport à celui des hommes en raison de leurs revenus et de leurs niveaux d'études moindres. En dépit d'une progression du nombre de filles scolarisées, d'importantes différences persistent entre les femmes et les hommes dans plusieurs domaines. Le taux d'activité féminin est inférieur au taux d'activité masculin à l'échelle mondiale, à raison de 49 % contre 75 %. En plus, lorsque les femmes sont actives, leur taux de chômage dépasse celui des hommes de 24 %. Egalement, dans certaines régions, le mariage précoce et le taux de natalité élevé chez les

adolescentes influent sur la vie d'un grand nombre de jeunes femmes et de jeunes filles. En Asie du Sud, 29 % des femmes entre 20 et 24 ans se marient avant l'âge de 18 ans. Le taux élevé de natalité chez les adolescentes, la maternité précoce et l'accès inégal aux services de santé, avant et après la naissance, entraînent un taux élevé de mortalité maternelle. Il est signalé que le taux de mortalité maternelle en Afrique subsaharienne est de 549 décès pour 100 000 naissances vivantes.

Les principales tendances régionales du développement, selon l'IDH et les autres indices de développement humain, sont résumées comme suit:

- **États arabes** : la région affiche une progression de 25,5% de la valeur de l'IDH depuis 1990. La région enregistre le deuxième plus large écart femmes-hommes du monde en développement (écart de 14,5% entre les hommes et les femmes dans l'IDH). Le taux d'activité féminin (21%) est le plus faible des régions en développement. L'IDH moyen des Etats arabes en 2022 est de 0,703.
- **Asie de l'Est et Pacifique** : la région enregistre la deuxième plus forte croissance de l'IDH (41,8 %) entre 1990 et 2017. Bien que l'écart entre l'IDH des femmes et celui des hommes (4,3%) soit inférieur à la moyenne mondiale de 6%, la part de sièges parlementaires occupés par des femmes demeure l'une des plus faibles des régions en développement, à 19,8 % contre une moyenne mondiale de 23,5 %. L'IDH moyen des pays de l'Asie de l'Est et du Pacifique en 2022 est de 0,741.
- **Europe et Asie centrale** : la valeur de l'IDH pour cette région (0,779) est la plus élevée du monde en développement. La perte globale d'IDH due aux inégalités est également la plus faible de l'ordre de à 11,7%. La région affiche également les plus faibles inégalités entre femmes-hommes dans le monde en développement. Cependant, le taux d'activité féminine demeure nettement inférieur à celui des hommes, 45,5% contre 70,3%. Alors que les femmes occupent 20,7% seulement des sièges parlementaires.
- **Amérique latine et Caraïbes** : la région Amérique latine et Caraïbes jouit de niveaux élevés de développement humain, surpassés seulement par la région de l'Europe et de l'Asie centrale. Cependant, l'IDH de l'Amérique latine et des Caraïbes a chuté de 21,8%. Ce constat s'explique par la répartition inégale des gains de développement humain et plus particulièrement des revenus. La région affiche ainsi le plus faible écart entre l'IDH des hommes et celui des femmes, il est à raison de 2% contre une moyenne

mondiale de 6%. La valeur de l'IDH moyen pour cette région est de 0,759 (un IDH élevé).

- **Asie du Sud** : l'Asie du Sud affiche la croissance de l'IDH la plus rapide dans le monde en développement, à raison de 45,3% depuis 1990. Sur cette période, l'espérance de vie s'est prolongée de 10,8 ans et la durée attendue de scolarisation des enfants a progressé de 21%. La perte d'IDH due aux inégalités est de l'ordre de 26%. L'Asie du Sud affiche l'écart le plus conséquent entre l'IDH des hommes et celui des femmes, à savoir 16,3%. L'IDH moyen des pays de l'Asie du sud en 2022 est de 0,642.
- **Afrique subsaharienne** : l'IDH de la région a progressé de 35% depuis 1990. Un seul pays Africain l'Ile Maurice est classé dans la catégorie des IDH « très élevé » tandis que 28 pays sont dans la catégorie des pays affichant un taux « faible » en matière d'IDH. C'est en Afrique subsaharienne qu'est enregistrée la plus forte perte de développement humain causée par les inégalités (31%). Le Rwanda, quant à lui, affiche la plus forte proportion de sièges parlementaires occupés par des femmes, à l'échelle mondiale (55,7%). L'IDH moyen des pays de l'Afrique subsaharienne en 2022 est de 0,541.

2.6.5. Le Produit Intérieur Brut (PIB)

Le produit intérieur brut (PIB) est un agrégat clé des comptabilités nationales. Il prend en compte le résultat final de l'activité de production, de la valeur ajoutée, des unités productrices résidentes, publiques, privées et nationales ou internationales. Autrement dit, le PIB mesure la valeur de tous les biens et services produits par une nation sur un exercice calculé selon le prix du marché. Si un pays enregistre une augmentation du PIB, cela signifie qu'il connaît une croissance économique. A contrario, une diminution du PIB rime avec décroissance. Le PIB, au prix du marché, peut être calculé de trois manières différentes :

- **Optique de la production** : Cela consiste à faire la somme des valeurs ajoutées de toutes les activités de production de biens et de services, avec l'ajout des impôts et la soustraction des subventions sur les produits, soit : valeurs ajoutées des activités + impôts – subventions.
- **Optique des dépenses** : Pour calculer le PIB, il faudrait faire la somme de toutes les dépenses finales (consacrées à la consommation ou à l'accroissement de la richesse) en y ajoutant les exportations, moins les importations de biens et services.

- **Optique du revenu** : Pour le calculer, il faut faire la somme de tous les revenus obtenus dans le processus de production de biens et de services (revenus salariaux, excédent brut d'exploitation et revenus mixtes) en y ajoutant les impôts sur la production et les importations moins les subventions.

C'est après la Seconde Guerre mondiale que de nombreux pays adoptent le PIB comme principal indicateur. Celui-ci devient l'instrument de mesure de l'activité économique, aux États-Unis dans un premier temps, puis dans le cadre du système de comptabilité des Nations Unies dans un second temps.

Le PIB par habitant sert d'indicateur du niveau de vie en donnant une valeur sur le pouvoir d'achat. Le PIB/habitant ou produit intérieur brut par habitant est la valeur du PIB divisée par le nombre d'habitants d'un pays en dollars. Il est plus efficace que le PIB pour mesurer le développement d'un pays.

Le PIB ne rend compte ni de la répartition de revenu et des inégalités de richesse au sein d'une population, ni du niveau de bien-être de la population ou du degré de réussite d'un pays en matière de développement. Il ne rend pas compte du développement humain, ni de la consommation des ressources non renouvelables ni de leur raréfaction pour les générations futures. Par ailleurs, il comptabilise positivement des activités qui nuisent au bien-être:

- Une hausse du PIB peut causer une stagnation, une dégradation du bien-être.
- La hausse du PIB suit la hausse des inégalités, cache la hausse de la criminalité ou du stress.
- Les catastrophes naturelles ou écologiques sont comptées positivement dans le PIB.
- La hausse des accidents de la route, les ventes d'armes, d'antidépresseur, font gonfler le PIB.

En général tous les pays les plus riches et les plus grandes puissances mondiales enregistrent les valeurs en PIB les plus élevés. Selon le Fond monétaire international (FMI), les États-Unis, restent de loin la 1^{ère} économie mondiale avec un PIB qui dépasse les 25 346 milliards de dollars (mds\$). Il est en hausse de 5,20%, par rapport à 2021.

Le géant chinois occupe la 2^{ème} place avec un PIB de 19 911 mds\$. Le pays a su rebondir, même après les confinements qui se sont succédés en relation avec l'épidémie de Covid-19, avec une croissance de 5,10%. L'Asie est présente en force sur le podium, le Japon se place à la 3^{ème} position avec un PIB de 4 912 mds\$ (Figure 28).

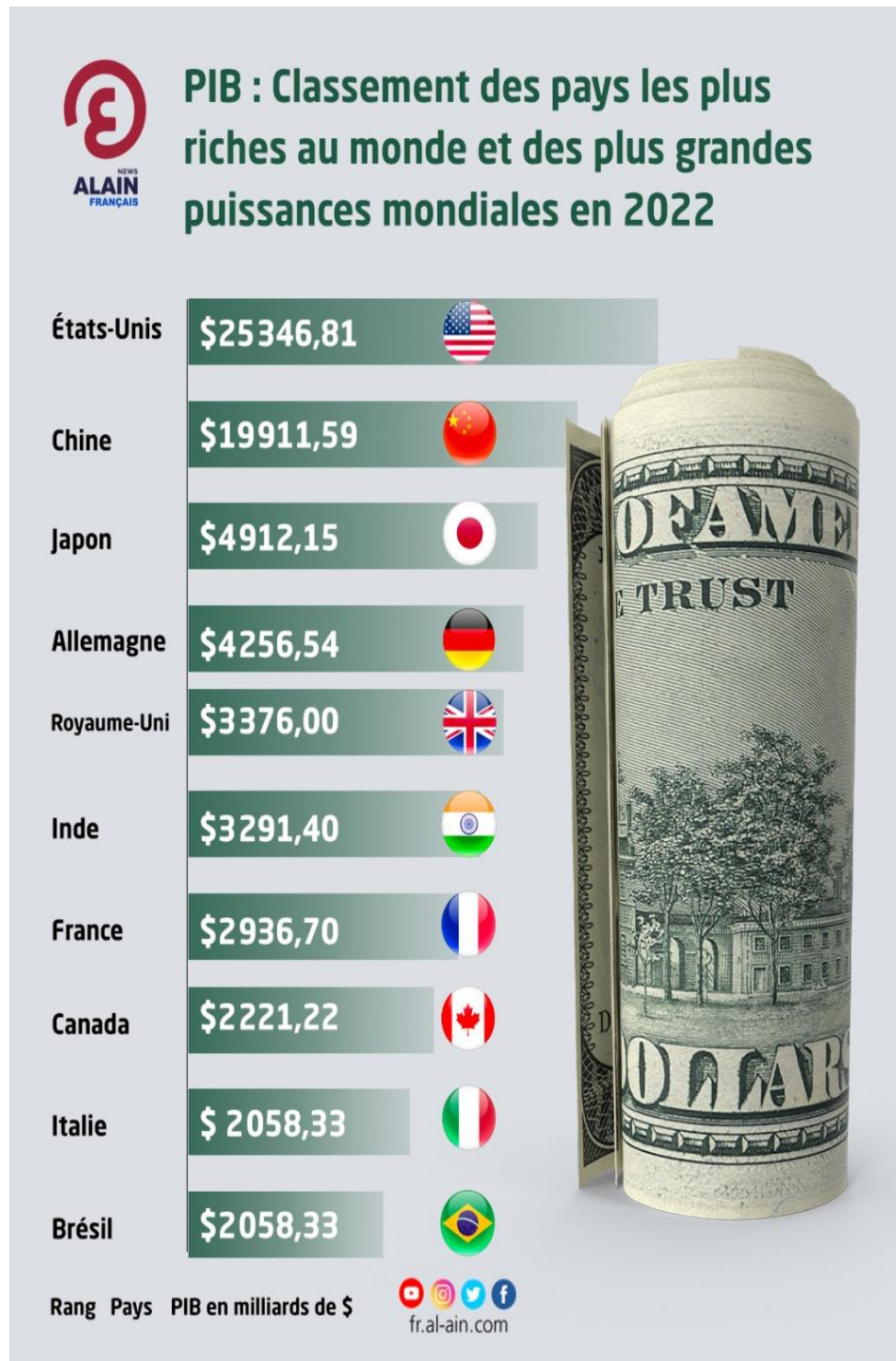


Figure 28 : Classement des pays les plus riches en PIB en 2022

(Réf : <https://fr.al-ain.com/article/pib-pays-riche-mondiale-classement>)

Dans le top 20 mondial, se trouvent 8 pays d'Europe (Allemagne, Royaume-Uni, France, Italie, Russie, Espagne, Pays-Bas, Suisse); 7 pays d'Asie (Chine, Japon, Inde, Corée du Sud, Iran, Indonésie, Arabie Saoudite); 4 pays des deux Amériques (États-Unis, Canada, Brésil, Mexique), ainsi que l'Australie (Tableau 9).

Tableau 9 : Classement des plus grandes puissances mondiales par leur PIB en 2022(Réf : <https://www.planetgrandesecoles.com>)

Rang	Pays	PIB en milliards de \$
1	États-Unis	\$25 346,81
2	Chine	\$19 911,59
3	Japon	\$4 912,15
4	Allemagne	\$4 256,54
5	Royaume-Uni	\$3 376,00
6	Inde	\$3 291,40
7	France	\$2 936,70
8	Canada	\$2 221,22
9	Italie	\$2 058,33
10	Brésil	\$1 833,27
11	Russie	\$1 829,05
12	République de Corée	\$1 804,68
13	Australie	\$1 748,33
14	Iran	\$1 739,01
15	Espagne	\$1 435,56
16	Mexique	\$1 322,74
17	Indonésie	\$1 289,30
18	Arabie saoudite	\$1 040,17
19	Pays-Bas	\$1 013,60
20	Suisse	\$841,97
21	Taiwan	\$841,21
22	Pologne	\$699,56
23	Turquie	\$692,38
24	Suède	\$621,24
25	Belgique	\$609,89
26	Argentine	\$564,28
27	Norvège	\$541,94
28	Thaïlande	\$522,01
29	Israël	\$520,70
30	Irlande	\$516,15
31	Nigeria	\$510,59
32	Émirats arabes unis	\$501,35
33	Autriche	\$479,82
34	Malaisie	\$439,37
35	Égypte	\$435,62

Avec un PIB de 4256 mds\$ (4^{ème} dans le monde), l'Allemagne représente le pays le plus riche d'Europe. En outre, les quatre pays des BRICS, groupe que l'Algérie ambitionne d'intégrer, figurent tous dans ce top 20.

Sur le continent Africain, le Nigeria s'impose à la 26^{ème} place du palmarès des pays les plus riches au monde (Tableau 10).

Cette position fait du Nigéria encore une fois, la nation africaine la plus riche d'après les chiffres du Fonds monétaire international (FMI), avec un PIB en 2022 estimé à 510mds\$. Ce chiffre enregistre une hausse de 2,7% sur un an.

Tableau 10 : Classement des plus grandes puissances d'Afrique selon leur PIB en 2022(Réf : <https://www.adiac-congo.com>)

Rang	Pays	PIB 2022 en milliards d'\$
1	Nigeria	\$510,59
2	Égypte	\$435,62
3	Afrique du Sud	\$426,17
4	Algérie	\$193,60
5	Maroc	\$133,06
6	Angola	\$124,86
7	Kenya	\$114,68
8	Éthiopie	\$105,33
9	Ghana	\$73,89
10	Côte d'Ivoire	\$73,05
11	République démocratique du Congo	\$64,80
12	Libye	\$48,77
13	Ouganda	\$46,38
14	Cameroun	\$45,71
15	Tunisie	\$45,64
16	Zimbabwe	\$36,39
17	Soudan	\$31,46
18	Sénégal	\$28,44
19	Zambie	\$26,67
20	Gabon	\$22,46
21	Guinée	\$20,95
22	Burkina Faso	\$19,62
23	Mali	\$19,26
24	Botswana	\$18,43
25	Bénin	\$18,39
26	Mozambique	\$18,09
27	Guinée équatoriale	\$16,34
28	République du Congo	\$15,95
29	Niger	\$15,62
30	Madagascar	\$14,62
31	Namibie	\$13,02
32	Tchad	\$12,94
33	Rwanda	\$12,06
34	Malawi	\$12,04
35	Maurice	\$11,26
36	Mauritanie	\$9,28
37	Togo	\$8,70
38	Somalie	\$8,49
39	Soudan du Sud	\$5,73
40	Maldives	\$5,50
41	Eswatini	\$4,65
42	Sierra Leone	\$4,27
43	Djibouti	\$3,84
44	Libéria	\$3,83
45	Burundi	\$3,43
46	République centrafricaine	\$2,65
47	Erythrée	\$2,57
48	Lesotho	\$2,56
49	Gambie	\$2,17
50	Cap Vert	\$2,00
51	Seychelles	\$1,75
52	Guinée-Bissau	\$1,66
53	Comores	\$1,31
54	São Tomé-et-Príncipe	\$0,53

Selon le FMI l'Algérie a enregistré une croissance de 3,5% de son PIB en 2018, puis a chuté à 0,7% en 2019 à cause de la crise sanitaire et a repris une croissance de 4,7% de son PIB en 2022. Avec cette valeur, l'Algérie occupe le 58^{ème} rang mondial. La banque africaine de développement (BAD) classe l'Algérie à la 4^{ème} place en Afrique avec un PIB équivalent à presque 193mds\$ en 2022 contre 167 mds\$ en 2021 ce qui représente une hausse de 14,88%. En tête du classement vient le Nigeria, suivi par l'Egypte et l'Afrique du Sud avec un PIB respectivement de 435 et 426mds\$ (Tableau 10).

Les autres pays Africains du top 10 sont : le Maroc, l'Angola, le Kenya, l'Éthiopie, la Tanzanie et le Ghana.

2.6.6. Le Taux de scolarisation garçons/filles

L'indice du niveau d'instruction mesure le niveau atteint par le pays considéré en termes d'alphabétisation des adultes et en termes d'enseignement, taux brut de scolarisation combiné dans le primaire, le secondaire et le supérieur. Initialement, la procédure consiste à calculer un indice pour l'alphabétisation des adultes et un autre pour la scolarisation. Ces deux indices sont ensuite fusionnés pour donner l'indice de niveau d'instruction dans lequel l'alphabétisation des adultes reçoit une pondération des deux tiers et le taux brut de scolarisation d'un tiers. Une société peut survivre sans éducation formelle (valeur minimale à zéro), ce qui justifie l'établissement du niveau d'instruction minimale évoqué. La valeur maximale de la durée moyenne de scolarisation est la valeur maximale projetée en 2025. La valeur maximale de la durée attendue de scolarisation est le nombre d'années d'études pour avoir le niveau Master, dans plusieurs pays.

L'instruction est représentée par deux indicateurs, selon la formule suivante :

$$I \text{ éducation} = I/2 \text{ durée attendue} * I/2 \text{ Durée moyenne}$$

Durée moyenne de scolarisation : Nombre moyen d'années de scolarisation passées par une personne âgée de 25 ans et plus.

Durée attendue : C'est la durée de scolarisation prévue et attendue pour un enfant en âge d'être scolarisé.

Cet indicateur est utilisé pour suivre le niveau de scolarisation et pour déterminer la population d'âge scolaire non scolarisée. Des taux nets de scolarisation proches de 100 % indiquent une scolarisation active des enfants d'âge scolaire. Aux niveaux national et international, l'objectif des programmes d'enseignement est d'atteindre un taux net de scolarisation de 100 %.

Il s'agit de calculs à partir du taux net de scolarisation. TNS :

$$\text{Taux net de scolarisation} = \frac{\text{Population scolarisée ayant l'âge officiel d'une scolarisation}}{\text{Population scolarisable ayant l'âge officiel d'une scolarisation}}$$

Toutes les sociétés ont traditionnellement privilégié la scolarisation des garçons par rapport aux filles. L'accès à l'éducation des garçons et des filles au primaire et au secondaire varie d'une région à l'autre dans le monde :

- **L'accès à l'éducation primaire** : Globalement 12 % des filles ne sont pas scolarisées au primaire, contre 10 % de garçons. Les taux de non-scolarisation des filles sont les plus élevés en Afrique subsaharienne (25 % contre 19 % des garçons) et dans les États arabes (14 % contre 10 % des garçons).
- **L'accès à l'éducation secondaire** : Dans le secondaire, autant de filles que de garçons ne sont pas scolarisés dans le monde. Mais cette égalité diffère selon les régions : plus de 54 % des filles ne sont pas scolarisées en Afrique subsaharienne contre 47 % des garçons. Elles sont 20 % en Asie du Sud et de l'Ouest et 15% dans les Etats arabes.

La scolarisation des jeunes filles constitue un élément essentiel dans leur émancipation. Elle est en net progrès dans le monde, mais de forts écarts persistent selon les régions. Il ne faut pas oublier aussi les écarts entre milieux sociaux : ce sont surtout les jeunes filles et les jeunes garçons des milieux défavorisés qui n'ont pas ou peu accès à l'école.

2.6.7. Accessibilité aux soins

Les problèmes quotidiens de l'environnement, notamment la mauvaise qualité de l'air et de l'eau, continuent d'influencer l'état de la santé de la population mondiale. De fait, l'accès de la population aux soins constitue un enjeu incontournable dans le développement durable de la santé. L'accessibilité aux soins présente au moins deux dimensions : matérielle et sociale, avec pour facteur déterminant la capacité matérielle d'accéder aux ressources sanitaires et aux services de santé.

Les indicateurs d'accessibilité prennent en compte les obstacles suivants : la distance, l'éloignement et la disponibilité. L'accessibilité réside dans les inégalités entre la population devant la maladie et l'inégale répartition des professionnels de santé. Ces inégalités se manifestent à l'échelle territoriale entre les différentes régions, dans la même région, entre le rural et l'urbain, entre espaces de montagne et espaces littoraux. Ces zones sous-dotées,

dénommées « déserts médicaux », touchent à la réorganisation et à la répartition de l'offre de soins : maisons de santé pluri-professionnelles, télémédecine...

Ainsi, l'accessibilité aux soins de santé permet d'appréhender les inégalités socio spatiales, les performances en quantité, l'équité en termes de distribution, d'organisation et d'offre de services de soins de santé rendus à la population. Les iniquités d'accessibilité aux soins sont dues à plusieurs paramètres :

- **L'éloignement des services de santé** : Dans certains pays africains, plus de la moitié de la population vit à plus de 10 km du centre de soins avec des risques que présentent le voyage (zones de conflits) et la mauvaise qualité des routes. En 2015 plus de 300 000 femmes sont décédées pendant ou après la grossesse ou pendant l'accouchement. En 2019 environ 830 femmes sont mortes chaque jour dans le monde du fait de complications liées à la grossesse ou à l'accouchement. Les iniquités d'accessibilité aux soins augmentent dans les zones montagnardes caractérisées par un relief difficile et une topographie souvent accidentée.
- **Manque de moyens financiers**: Ce manque de moyens contraint des patients à ne rechercher des soins que lorsque leur santé s'est sérieusement détériorée, ce qui rend le traitement plus difficile et encore plus coûteux.
- **Ruptures de stock** : De mauvaises prévisions, des commandes inadaptées, l'augmentation de la demande pour des médicaments spécifiques, un manque de capacité à stocker les médicaments, ou encore une impossibilité à livrer les médicaments en zones de guerre, entraînent l'indisponibilité de certains produits.
- **Manque de personnel médical qualifié** : Selon l'OMS, il manque plus de 18 millions de professionnels de la santé dans le monde. Ainsi 40 millions d'accouchements dans les pays en développement ne sont pas assistés par un personnel soignant qualifié, entraînant un risque de mortalité maternelle.
- **Zones de conflits** : Dans ces zones la demande en soins est importante mais l'offre est réduite à cause d'infrastructures sanitaires détruites ou endommagées, du personnel de santé qui fuit les zones de combats, du matériel médical et des médicaments qui viennent à manquer.
- **Manque d'accès aux informations** : Le manque d'informations joue un rôle primordial dans la propagation d'une maladie. Les populations ne savent pas comment

une maladie se transmet, comment la prévenir, quels sont les symptômes et que faire lorsqu'une personne est malade.

- **Manque d'infrastructures sanitaires opérationnelles :** Ce problème est accentué dans les pays qui sont frappés par un conflit ou une catastrophe naturelle. Ils provoquent la destruction complète ou partielle d'infrastructures sanitaires.
- **Manque de traitements :** Il existe des maladies pour lesquelles aucun médicament n'est connu à l'heure actuelle, rendant tout traitement curatif ou préventif des patients impossible.

Au cours de ces dernières années l'idée de mettre en place des mécanismes de protection sociale s'est largement imposée dans de nombreux pays en développement. En effet, plusieurs d'entre eux ont fait le choix de mettre en place des politiques de gratuité des soins de santé primaires pour les pays les plus vulnérables (Niger, Haïti, Burkina Faso, Mali...). Ainsi depuis 2005, le Niger a introduit des mesures d'exemption de paiement au profit des femmes enceintes et des enfants de 0 à 5 ans. Cette politique a eu des effets significatifs et positifs sur le niveau d'utilisation du système de santé dans le pays.

En 2012, il a été estimé que 83% des femmes enceintes ont bénéficié d'un suivi de grossesse contre 40% en 2005. La gratuité, en favorisant l'accès au soin aux enfants de moins de 5 ans, a aussi permis d'augmenter de manière très nette la prise en charge précoce des principales pathologies à l'origine de la mortalité infantile : le nombre d'enfants qui meurent avant l'âge d'un an pour 1 000 naissances vivantes une année donnée.

L'indicateur se calcule de la manière suivante :

$$\frac{\text{Nombre de décès d'enfants de moins d'un an pendant une année}}{\text{Nombre de naissance de la même année}} \times 1000$$

Le taux de mortalité maternelle se calcule de la manière suivante :

$$\frac{\text{Nombre de mortalité maternelle}}{\text{Nombre total de naissances vivantes}} \times 100\ 000$$

Le taux de mortalité infantile mesure la chance de survie des enfants de moins d'un an. Il traduit aussi la situation économique, sociale, culturelle et environnementale dans laquelle vivent les populations, notamment en matière de santé. Le taux de mortalité permet de repérer souvent les populations pauvres ou vulnérables.

2.7. Education environnementale

2.7.1. Le concept de l'éducation environnementale

Dès les années 1960, les naturalistes et les écologistes, renforcés par les multiples crises industrielles, ont commencé à s'intéresser à l'environnement. Par la suite, dans les années 1970, les problèmes environnementaux et sociétaux se sont imposés dans l'agenda des gouvernements et des instances internationales. C'est dans ce contexte que la Conférence internationale sur l'environnement humain des Nations Unies a eu lieu en 1972 à Stockholm : l'éducation environnementale s'est alors affirmée comme une priorité internationale. La rencontre internationale de Belgrade en 1975 et la conférence de Tbilissi en 1977 ont renforcé cette priorité en soutenant l'éducation environnementale, en particulier par une charte en ce domaine.

Le processus s'est encore développé, le Rapport de Brundtland de 1978 a défini pour la première fois le concept de Développement Durable. L'éducation relative à l'environnement va alors se situer dans la perspective de Développement Durable.

Ce concept est repris lors du Sommet de la Terre en 1992 à Rio. Depuis, l'importance de l'éducation environnementale, en réponse aux problèmes environnementaux mondiaux, est toujours d'actualité.

D'autres conférences ont parallèlement eu lieu, elles ont notamment proposé, lors de la conférence de Rio en 1992, le traité de l'éducation environnementale pour des sociétés durables et une responsabilité globale. Depuis, le sujet a été régulièrement traité par plusieurs instances gouvernementales et non gouvernementales. Ainsi, la conférence de Tbilissi définit l'éducation environnementale comme un intermédiaire, voire même une méthode, pour transmettre les valeurs civiques de notre société, avec pour règle de permettre *aux individus de percevoir le caractère complexe de l'environnement*. Dès lors, l'éducation à l'environnement est devenue *une forme d'éducation essentielle pour faire passer des messages de protection et de respect du patrimoine naturel*.

L'éducation environnementale est un outil nécessaire à la mise en place des projets environnementaux, locaux, nationaux et internationaux. La participation conjointe de l'éducation et de l'environnement, sans prendre d'engagement politique, est une tentative de réponse et donc de questionnement par rapport aux problématiques environnementales mondiales et sa mise en place dans les écoles primaires et fondamentales.

Les agents en charge de l'éducation environnementale proviennent de milieux divers : enseignants, animateurs, guides, conseillers de compétences diverses. Leurs objectifs sont les suivants :

- **La prise de conscience** : aider les individus et les groupes sociaux à prendre conscience de l'importance de l'environnement et les sensibiliser aux problèmes relatifs à son respect et à sa préservation.
- **L'enseignement de connaissances** : offrir aux individus et aux groupes sociaux un enseignement théorique et pratique des connaissances fondamentales sur l'environnement et les problèmes relatifs à son respect et à sa préservation.
- **La formation aux valeurs relatives à la protection de l'environnement** : motiver les individus et les groupes sociaux à s'engager à le protéger et à l'améliorer.
- **L'acquisition de compétences** : aider les individus et les groupes sociaux à acquérir les compétences nécessaires aux diagnostics des problèmes de l'environnement et à leurs solutions.
- **L'invitation à l'engagement** : offrir aux individus et aux groupes sociaux toutes sortes d'occasions de contribuer à la résolution de problèmes liés à la protection de l'environnement.

Ainsi, les responsables gouvernementaux et les décideurs qui s'occupent des politiques de l'éducation se sont attaqués à la question de la réforme de l'éducation, exigée des transformations structurelles. Par exemple, un rapprochement des responsables de l'éducation, des médias et des entreprises privées. Il faut pour cela que certaines conditions essentielles soient réunies :

- Garantir un large accès à l'information, par une éducation qui contribue à former des citoyens bien informés et motivés, prêts à agir. C'est le fondement même du développement durable.
- Renforcer la coopération internationale et régionale.
- Améliorer la qualité de l'éducation.
- Promouvoir le savoir scientifique et technologique. A cet égard, il est nécessaire de valoriser les ressources humaines dans les domaines de la science et de la technologie pour améliorer les compétences, la compétitivité et le bien-être socio-économique de chacun.
- Financer l'éducation et la formation relatives à l'environnement, par l'affectation d'une part des budgets alloués à la planification du développement.

- Mettre en équation la viabilité de l'environnement et le bien-être de l'homme, en garantissant le respect des droits de l'homme, de la démocratie, de l'État de droit et des conditions d'existence pacifiques.

En Algérie, lors de la création du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement en l'an 2000, un grand débat a été lancé à l'échelle nationale dans l'objectif de sensibiliser et d'informer le grand public sur la gravité de la situation environnementale dans le pays. Un plan National d'actions pour l'Environnement et le développement durable a été élaboré (PNAEDD). Parmi les thèmes abordés par cet ambitieux plan : l'éducation environnementale.

L'éducation à l'environnement est contenue dans la loi 03-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. C'est suite aux recommandations des différentes conférences internationales organisées par l'UNESCO (en collaboration avec le programme des nations unies pour l'Environnement (PNUE), particulièrement celui de Tbilissi (EX-URSS) en 1977, de Rio de Janeiro en 1992 et aux recommandations de la Commission Nationale Algérienne de la réforme du système éducatif) qu'un protocole d'accord entre le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et le Ministère de l'Education Nationale a été signé en Avril 2002. Ce protocole d'accord vise l'élaboration et la mise en œuvre d'un programme de renforcement de l'éducation environnementale dans le Cursus scolaire et la création d'activités complémentaires à travers des clubs verts créés dans des établissements d'enseignement.

Sur le plan institutionnel une commission interministérielle (Education Nationale- Aménagement du territoire et Environnement) a été créé en vue d'assurer les missions de coordination, de mise en œuvre et de suivi de ce programme. De même que des comités pédagogiques ont été mis en place pour la conception d'outils pédagogiques, en supports à l'éducation environnementale. Ces outils pédagogiques sont constitués par plusieurs éléments :

- **Le guide de l'éducateur**

Ensemble de guides pour les trois niveaux scolaires (primaire, moyen, secondaire). Ils se présentent sous forme de classeurs à quatre volets, avec une partie réservée à chaque niveau scolaire :

- Une partie introductive - définition des concepts et enjeux de l'EEDD (Education Environnementale pour le Développement Durable),
- Une partie descriptive de l'état des lieux,

- Une partie méthodologique de démarche à suivre,
- Une partie suggestive où sont proposées des fiches techniques thématiques (déchets, feu, séisme ...).

- **La mallette du club vert**

Le club vert scolaire regroupe les élèves d'un établissement scolaire autour d'un enseignant -animateur. Il permet aux élèves et aux animateurs des trois paliers (primaire, moyen, secondaire) de construire des projets et des activités complémentaires au programme pédagogique afin d'aborder les problèmes environnementaux et d'envisager les solutions concrètes. La mallette du club vert est l'outil pédagogique de ces activités. Elle comporte :

- **Le Guide de l'Animateur** : Guide méthodologique pour les trois niveaux scolaires (primaire, moyen, secondaire). Des fiches pédagogiques pour la préparation d'activités (valorisation de projets, préparation de sortie...)
- **Le livret de l'adhérent au club vert scolaire** : Avec aussi un engagement de protection de l'environnement.
- **La charte Environnementale scolaire** : Outil de sensibilisation scolaire qui contribue à la mise en œuvre d'actions environnementales au niveau des établissements scolaires. Elle vise à faire converger les efforts de tous les acteurs concernés par un acte solennel (signature de la charte par les élèves, les enseignants, les gestionnaires...) et un engagement à œuvrer pour la protection de l'Environnement.

- **Le cahier d'activité de l'élève**

Le cahier d'activité de l'élève comprend un ensemble d'exercices ayant trait aux thèmes proposés dans le guide de l'éducateur à savoir : l'eau, les déchets, les incendies, les séismes... Ce cahier a été remplacé au cours de l'année 2007 par le livre d'exercices exposé ci-dessous.

- **Le livre d'exercice de l'élève**

Ce livre est un complément en vue de mieux s'approprier les connaissances acquises en classe et ce à travers des exercices sur des thèmes environnementaux.

L'éducation environnementale apporte une contribution efficace au développement durable. Elle s'adresse à tous, à tous les âges et tout au long de la vie. Elle mobilise une pluralité d'acteurs, parmi lesquels figurent des associations, des institutions scolaires, des entreprises et des collectivités territoriales.

Elle est facilitée par une action volontariste de l'État et des Collectivités locales qui l'inscrivent dans leurs politiques publiques, elle est mise en pratique par la concertation des acteurs publics et des acteurs de la société civile. L'éducation environnementale a pour but d'amener les individus et les collectivités à saisir la complexité de l'environnement, tant naturel que créé par l'homme.

2.7.2. Sensibilisation et animation nature

L'animation nature a pris son essor dans les années 1960, menée par des passionnés bénévoles. Les premiers professionnels apparaissent dans les années 1970 et les années 80. L'éducation par et pour la nature va fusionner, parallèlement à la diversification des activités et des moyens pédagogiques. A la fin des années 1990, le développement durable confirme les notions d'éco-citoyenneté et de démocratie. Il se développe ainsi une éducation relative à l'environnement qui attache autant d'importance à l'environnement sociétal que naturel.

La sensibilisation consiste à informer sur les objectifs et à diverses échelles la population, les autorités administratives et coutumières. A cet effet plusieurs supports de communication sont mobilisés : audio, visuels, audio-visuels...

Un document de stratégie et de sensibilisation est élaboré, il contient tous les dispositifs techniques et méthodologiques requis pour obtenir la confiance et la totale coopération d'un large spectre d'acteurs essentiels : responsables politiques et administratifs, personnages, population.

L'animation intègre alors clairement une dimension culturelle : l'environnement est compris non plus comme la simple relation de l'homme à la nature mais plutôt comme le rapport que l'Homme a avec le milieu dans lequel il vit.

L'animation nature s'inscrit donc d'une manière générale dans l'éducation environnementale vers un développement durable. Elle est destinée à chacun et concerne tous les territoires, elle vise à donner vie et à créer du mouvement. Elle fait passer du latent au manifeste du non être à l'être, de l'immobile au mobile, du potentiel au réel.

L'animation est donc une *méthode d'intervention au sein d'un groupe en situation en vue de rendre le groupe concerné plus apte à communiquer, à décider et à agir.*

Créer une animation répond à la demande d'un organisme ou d'une personne. Par exemple : un chargé de mission d'éducation dans un parc qui fera appel à un sens de l'imagination et à des connaissances spécifiques pour illustrer un ou plusieurs objectifs d'un programme pédagogique.

Ce programme est réalisé selon les démarches suivantes :

- **Le cahier de charge**

Ce chapitre s'adresse aux personnes qui vont concevoir l'animation, mais aussi aux organismes et personnes qui ont des demandes. Le cahier des charges de l'animation est un petit formulaire qui met à plat toutes les données de départ (contraintes matérielles, durées...). Il est rédigé par le commanditaire de l'animation. Ce cahier des charges est un préalable indispensable à toute conception. Un modèle pour rédiger le cahier des charges est exposé dans le Tableau 11 :

Tableau 11 : Cahier des charges pour réaliser une animation

(Réf : <http://www.docplayer.fr>)

CAHIER DES CHARGES POUR RÉALISER UNE ANIMATION	
Objectif général de l'animation	....................
Thème de l'animation :	..... .....
Participants	..........
Unité de lieu(site)	..... .....
Durée du module d'animation	..........
Nombre d'animateurs pour le module	.....
Budget d'investissement	.....
Budget de fonctionnement	.....
Échéances de conception de l'animation	.....
Date de la première animation	.....

- **L'objectif général de l'animation :** L'objectif affiché est éducatif (Tableau 11). Les milieux naturels, les musées, les ateliers pédagogiques sont autant d'occasion de sortir de la classe et de fermer livres et cahiers. C'est un temps où l'on est plongé dans la vie réelle avec l'appui d'une démarche pédagogique originale pour optimiser les apprentissages. Schématiquement, les objectifs éducatifs sont regroupés en trois catégories : **le savoir** (Créer un lien c'est apporter des connaissances, un savoir, c'est expliquer, c'est apprendre... Exemple : *comprendre que la qualité de l'eau de la rivière ou de la mer dépend du soin qu'on lui apporte (traitement de l'eau usée en station d'épuration avant son rejet dans la nature.)*), **le savoir être** (Créer un lien c'est aussi donner envie de connaître, faire apprécier, sensibiliser, faire ressentir (influer sur les comportements relationnels entre les personnes et leur relation avec l'environnement). Exemple : *sensibiliser, par le biais d'un atelier de création en forêt, que l'on ne peut prélever que certains éléments dans la nature et de manière modérée.*) et **le savoir-faire** (Créer un lien c'est apporter une méthode, apprendre une technique, un savoir-faire, un geste, qui seront également mémorisés et qui pourront être utilisés dans une situation future, ce qui donnera d'autres compétences, d'autres comportements pour s'adapter au monde, agir, inventer. Exemple : *apprendre, autour d'une souche, à déterminer l'âge d'un arbre et à repérer quelles ont été les années sèches et humides.*). Pour le concepteur d'une animation, mettre en mots ses objectifs pédagogiques, c'est construire une fondation solide à son animation. Cela permet de mettre en lumière le sens de l'activité.
- **Le thème de l'animation :** Choisir un thème précis, au lieu de rester dans les généralités, donne à l'animation de la personnalité. Plus le thème est pointu, plus l'animation a du caractère. Choisir un thème présente l'intérêt de pouvoir créer des gammes d'animations. Le thème est apporté par le responsable de l'équipement éducatif ou par le gestionnaire du site naturel (Tableau 11). S'il n'est pas imposé, c'est au réalisateur de l'animation de le choisir en fonction des potentiels de son site ou de son équipement. Le thème peut également être choisi en s'appuyant sur la programmation d'évènements ou de fêtes : la venue du printemps, l'arrivée d'une nouvelle collection dans le musée, la mise en place du tri des déchets dans une commune, sur la biodiversité ...
- **Le site (le lieu) :** Le choix du site est très important, il contribue pour beaucoup à la réussite de l'animation. Un milieu naturel, une salle de classe, un vieux manoir, une

ferme, une entreprise... en fonction de la nature de l'animation (Tableau 11). La connaissance précise du site est un atout pour réussir une animation.

- **Les sites extérieurs** sont d'excellents supports à des animations. Ils nécessitent, outre une bonne connaissance scientifique, une grande pratique de terrain. C'est en fait la seule façon de pouvoir maîtriser l'endroit et faire passer la force du site.
- **Les milieux naturels** sont des écosystèmes complexes nécessitant quelques notions de base en écologie et la connaissance des grands principes fondamentaux qui régissent les milieux naturels, comme les relations entre le sol, les végétaux, les animaux, les chaînes alimentaires, les facteurs climatiques, les activités de l'homme... Ces éléments de compréhension globale doivent se juxtaposer avec une connaissance précise de la faune et de la flore du site.
- **La durée du module d'animation** : La durée de l'animation est définie dès le départ, en fonction de l'âge des participants et du cahier des charges (Tableau 11). Dans le cas des enfants en temps scolaire, l'idéal est de disposer d'une journée complète en alternant des temps d'apprentissages structurés et des temps de découvertes libres, avec une collecte et un tri des déchets pour garder la cohérence de la journée.
- **Le budget d'investissement** : Préparer une animation nécessite toujours un budget d'investissement (Tableau 11), même minime, pour l'achat du matériel (une paire de jumelles, des carnets, des appareils photos, des accessoires de déguisement...).
- **Le budget de fonctionnement** : Il est nécessaire d'estimer son coût selon sa durée, le nombre d'animateurs... Calculer le temps passé à préparer l'animation, le temps passé en animation (pour chaque animateur présent), les frais de matériels (s'ils sont renouvelés à chaque animation), les frais de déplacements... Appliquer un tarif de prestation en tenant compte de toutes ces données.

- **L'animateur nature**

L'animateur nature a une très bonne connaissance du terrain sur lequel il travaille mais également de l'histoire, du patrimoine et de tout ce qui l'entoure. Pédagogue, il peut intervenir sur des sujets comme la pollution de l'eau et de l'air ou les déchets notamment. Il doit aussi être capable de répondre aux questions des personnes qu'il rencontre. Ses compétences ne sont pas seulement de savoir créer des activités, de les organiser et de faire en sorte qu'un maximum de personnes y participe. Il doit aussi être capable d'organiser et

d'animer diverses animations autour de la nature, de l'environnement et surtout de la sensibilisation aux enjeux. L'animateur nature est avant tout un passionné et son public est varié: élèves en classe verte et adultes désireux de découvrir des sites naturels. Il peut également organiser des visites guidées ou des stages à thèmes (ornithologie, minéralogie par exemple), il travaille pour les associations de protection de la nature, les écomusées, les réserves naturelles... Savoir communiquer et animer un groupe, faire preuve d'initiative et de créativité sont parmi les qualités déterminantes pour ce métier.

2.7.3. Communication environnement

La communication environnementale correspond aux pratiques de communications réalisées par divers canaux :

- Les medias,
- Les institutions (administration et collectivités locales),
- Les entreprises,
- Les associations et les partis politiques intervenant dans leurs interventions portant sur le thème de l'environnement.

Ces quatre types d'acteurs renvoient à des savoirs différents sur les questions environnementales. Certains maîtrisent les informations scientifiques, d'autres les informations économiques et d'autres encore les informations juridiques, politiques ou sociales, suivant le sujet. Leurs besoins de communiquer sont aussi différents, suivant les visions et les obligations et les repères auxquels ils se réfèrent.

Si l'on peut dater le développement de la communication environnementale à la fin des années 1960, il faudra attendre le milieu des années 1980 pour voir celle-ci pleinement installée dans le monde de la communication. Elle s'est définitivement établie après le Sommet de la Terre à Rio en 1992. C'est un domaine particulier de l'information, consistant à échanger et à informer sur une diversité d'événements environnementaux suffisamment significatifs pour être remarqués et remarquables pour attirer l'attention. Elle est présente dans les journaux, les revues, les livres, à la radio, à la télévision, au cinéma.

Elle est aussi bien utilisée par ceux qui ont pour mission d'étudier ou de gérer l'environnement (associations, institutions, entreprises privées, ...), que par ceux qui tiennent un discours écologique ou politique et même par ceux qui pourraient porter atteinte à l'environnement (entreprises chimiques, unités de foresteries, centrales nucléaires...). De fait et en réaction, par ceux qui dénoncent les catastrophes environnementales impliquant

l'homme (Greenpeace, les Amis de la Terre...). Les catastrophes naturelles, jointes à l'accroissement des catastrophes environnementales dues à l'action de l'homme, ont engendré une réaction de peur qui navigue entre alarmisme et catastrophisme. Le cas du changement climatique, où s'affrontent d'un côté lanceurs d'alerte et scientifiques dont les résultats sont soumis à la critique croisée de leurs pairs (dans des revues comme *Nature*, *Science*...) et de l'autre des contestataires comme les climato-sceptiques qui intègrent dans le débat public une polémique de soupçon, désignant parfois les scientifiques comme des personnes malhonnêtes en remettant en cause leurs résultats considérés comme erronés et en considérant le niveau d'alerte comme exagéré.

La communication environnementale est animée par un individu (ou une structure) qui jouit d'une forte crédibilité et apparaît donc légitime et sensible. Pour les entreprises, la communication environnementale est considérée comme une communication de type « sensible » (communication de sensibilisation).

Bibliographie

Bloom E.D. 2016. Bouleversement démographique. *Finances et développement*, 6-11.

Bonnevault S. 2003. Développement soutenable, pour une croissance écologique et sociale. Edition du Croquant, Paris, 252p.

Bourg D. & Rayssac G-L. 2006. Le développement durable: Maintenant ou jamais. Gallimard, Paris, 128p.

Boutaud A. & Gondran N. 2008. L'empreinte écologique. La Découverte, Paris, 122 p.

Brunel S. 2004. Le développement durable. PUF, Paris, 127p.

Chastang S. 2002. L'éducation au développement durable. *Cahiers pédagogiques*, **403(06)**: 9-49.

Dajoz R. 2008. La biodiversité, l'avenir de la planète et de l'homme. Ellipses, Paris, 275p.

Diemer A. & Marquat C. 2014. Education au développement durable. Enjeux et controverses. Edition De Boeck Supérieur, 496p.

Froget G. 2005. Quel développement durable pour les pays en voie de développement. *Cahier du GEMDEV*, **11 (30)** : 239p.

Guesnerie. R. 2003. « Kyoto et l'économie de l'effet de serre » rapport du CAE.-
(<http://www.cae.gouv.fr/spip.php?article90>)

Groupe d'experts international sur les ressources. 2019. Edition 2019 des Perspectives des ressources mondiales: les ressources naturelles pour l'avenir que nous voulons. Programme des Nations Unies pour l'environnement.
(<https://www.resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook>)

Kettab A., Mitiche R. et Bennaçar N. 2008. L'eau pour un développement durable : enjeux et stratégies *Revue des Sciences de l'Eau*, **21(2)** : 247-256

Lévêque C. & Mounolou J-C. 2008. Biodiversité: La biodiversité, l'avenir de la planète et de l'homme Dynamique biologique et conservation. Dunod, Paris, 254p.

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. 2018. Systèmes alimentaires durables: concept et cadre.

<http://www.fao.org/3/ca2079en/CA2079EN.pdf>

Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). 1995. Agriculture mondiale : horizon 2015-2030. Rapport abrégé, Rome, Italie.

<https://www.fao.org/documents/card/en/c/50c37c5a-0331-51d4-bec4-3b1a2794c37d>

Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). 2013. Statistical Yearbook ; World food and agriculture, FAO, Rome, Italie.

<http://www.fao.org>

Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). 2005. « Questions d'éthique en matière de pêche », Collection Questions d'éthique, série 4, FAO, Rome, Italie.

<https://www.fao.org/publications/card/fr/c/60e302b3-2b09-51b2-ac83-d3e992112b7d/>

Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (Unesco). 2016. Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau, l'eau et l'emploi Unesco.

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000244163>

Organisation mondiale de la santé (OMS). 2003. Right to Water ; Health and Human Rights, Publication Séries 3, Organisation mondiale de la santé, Genève, Suisse.

<https://apps.who.int/iris/handle/10665/42661>

Organisation mondiale de la santé (OMS). 2006. Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre, Organisation mondiale de la santé, Genève, Suisse.

<https://apps.who.int/iris/handle/10665/69476>

Rapin M. & Noel J.M. 2019. L'énergie éolienne. Du petit éolien à l'éolien offshore. 3ème édition, Dunod, Paris, 384p.

Riondet B. 2004. Clés pour une éducation au développement durable. Livre Hachette, CRDP, Poitou-Charentes, 143p.

Salviat B., Proust B. & Allegraud K. 2015. Une énergie, des énergies. Comment fonctionne le monde ? Belin, Pour la science, Paris, 352p.

Tabutin D. & Thiltgès E. 1992. «Relations entre croissance démographique et environnement». *Tiers-Monde*, **33 (130)** : 273-294.

Tyteca, D.2002. Problématique des indicateurs en environnementaux et développement durable, Congrès de la Société de l'Industrie Minérale, 15p.

Van Griethuysen P. 2002. «Sustainable development: an evolutionary economic approach». *Sustainable Development*, **10**: 1-11.

Velazquez A. & Gevaert P. 2006. Agriculture et alimentation. Agriculture, développement durable et mondialisation. Colophon, Paris, 108p.

Sites internet

<https://youmatter.world/fr/definition/definition-developpement-durable/>

<https://books.openedition.org/irdeditions/6771?lang=fr>

[https://ise.unige.ch/isdd/IMG/pdf/ Introduction au _développement durable R.Lawrence. pdf](https://ise.unige.ch/isdd/IMG/pdf/Introduction_au_developpement_durable_R.Lawrence.pdf)

<https://library.fes.de/pdf-files/bueros/algerien/18570.p>

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00962201>

<https://cnosf.franceolympique.com/cnosf/actus/4870-historique-du-dveloppement-durable.html>

<http://www.alternatives-economiques.fr/climat---on-en-parle--beaucoup---mais-on-ne-fait--presque--rien fr art 206 24236.html>

<https://www.genevaenvironmentnetwork.org/fr/environnement-geneve/domaines-cles-odd/>