

République Démocratique du Congo
UNIVERSITE OFFICIELLE DE BUKAVU



ECOLE DES MINES
DEUXIEME LICENCE GENIE MINIER ET GENIE CIVIL (L2 MINES)

COURS D'ENVIRONNEMENT ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

Prof., Dr., Ing., Kalonji Kabambi Alex

Février, 2023

PLAN DE COURS

Chapitres	Contenus du cours (HT : 30H, HP : 15H, TOT : 45H)
1	Introduction : objectif générale du cours, rôle des ingénieurs, histoire du génie de l'environnement
2	Quelques composantes de l'environnement : eau et hydrosphère, air et atmosphère, impuretés, caractéristiques importantes de l'eau
3	Étude d'Impact sur l'Environnement (EIE) : Définitions, mise en contexte , étapes et processus
4	Développement Durable : Définitions, principes et mise en contexte, autres formes de développement, l'ingénieur et le développement durable
5	Enjeux climatiques actuels de la planète et potentiels environnementaux de la République Démocratique du Congo
Travaux Dirigés (TD) et Travaux Personnels (TPE)	
Groupe 1	Exposé sur le massif forestier de la République Démocratique du Congo
Groupe 2	Exposé sur les ressources en eau de la République Démocratique du Congo
Groupe 3	Exposé sur les minerais stratégiques de la République Démocratique du Congo
Groupe 4	Exposé sur la biodiversité de la République Démocratique du Congo
Groupe 5	Exposé sur le traitement des déchets dans la ville de Bukavu

Objectif général du cours

Connaître les composantes de l'environnement, la notion d'étude d'impact sur l'environnement, les concepts de développement durable, les enjeux climatiques actuels de la planète et les potentiels environnementaux de la République Démocratique du Congo

Préalable : Aucun

Méthodologie de l'enseignement et approche pédagogique

Cours magistral, exercices, travaux à domicile et exposé des travaux en groupe

Pondération des différentes composantes de l'évaluation

- Travaux dirigés (TD), Travaux personnels (TPE) : 25%
- Interrogation : 25%
- Examen final : 50 %

Sources documentaires

- André, P., Lanmafankpotin G., Revéret, J-P., Yonkeu S. 2020. L'évaluation des impacts sur l'environnement, 4e édition : Processus, acteurs et pratique pour un développement durable. Presse internationales Polytechnique.
- André, P., Delisle, C.E., Revéret, J-P. 2010. L'évaluation des impacts sur l'environnement, 3e édition : Processus, acteurs et pratique pour un développement durable. Presse internationales Polytechnique.
- Desjardin, R. 2015. Genie de l'environnement. Notes des cours. 8ème édition. Departement des génies civil, géologique et des mines. École Polytechnique de Montréal. Été 2015.
- Karel F. Mulder. L'ingénieur et le développement durable. Presse de l'Université du Québec. 2010.
- Dassargues, A. 2010. Cours de génie de l'environnement. Partie : Géo-ressources/Géo-risques. Université de Liège.
- Ministère de l'Environnement et Développement Durable en République Démocratique du Congo : <https://medd.gouv.cd/>.
- Loi N° 007/2002 du 11 juillet 2002 portant code minier telle que modifiée et complétée par la Loi N° 18/001 du 09 mars 2018.

Retard et absentéisme

- Le professeur s'attend à ce que tous les étudiants assistent régulièrement au cours
- L'étudiant doit être ponctuel et arriver au début des cours. S'il arrive avec 10 minutes ou plus de retard, il doit attendre la pause avant d'entrer en classe
- Pour les travaux (devoirs, rapports, etc), une pénalité de 20% (absolue) est appliquée par jour de retard. Après un retard de trois jours ou plus, la note zéro (0) est attribuée.

Fraude et plagiat

Tout étudiant ou groupe d'étudiants qui pose, tente de poser ou participe à un acte de plagiat et/ou fraude relatif à ce cours peut se voir imposer, entre autres, une ou plusieurs sanctions, notamment :

- l'attribution de la note zéro (0);
- l'échec du cours.

CHAPITRE I. ENVIRONNEMENT ET DEVELOPPEMENT DURABLE

I.I INTRODUCTION

Le rôle de l'ingénieur est d'utiliser les ressources de la terre pour améliorer les conditions de vie de la population. Différents ingénieurs vont travailler dans différents domaines. Par contre, tous auront, un moment donné, besoin des connaissances en génie de l'environnement. On peut diviser les domaines d'activités des ingénieurs en trois grandes catégories :

- **Infrastructures et services publics**
- **Produits de consommation**
- **Extraction des richesses naturelles**

Les infrastructures et les services publics sont les principaux domaines d'activités de l'ingénieur en génie civil (ou ingénieur en construction). Cela englobe les infrastructures routières (routes, ponts, transport en commun), les édifices, les réseaux de distribution d'eau potable et de collecte des eaux d'égouts, les usines de production d'eaux potables et d'épuration des eaux usées, la collecte et la disposition des déchets solides, le contrôle de bruits et de la pollution atmosphérique, etc. L'ingénieur en génie civil participe à toutes les étapes de développement de ces projets, que cela soit au niveau de la conception, de la construction, de l'exploitation et même de la réfection des infrastructures. Afin de solutionner ces problèmes, l'ingénieur en génie civil aura besoin des connaissances particulières en génie de l'environnement.

La conception, la production, la distribution et l'entretien des produits de consommation impliquent souvent des ingénieurs industriels ou en génie mécanique. Des connaissances en génie de l'environnement leurs sont aussi utiles. Des connaissances en génie de l'environnement sont nécessaires afin de rendre les procédés de production moins polluants ou bien de mieux effectuer la mise au rebut ou ce qui est plus acceptable le recyclage des matières. Pour effectuer ces tâches, des connaissances en génie de l'environnement adaptées au domaine d'activité sont encore requises.

Il est possible de faire le même raisonnement en ce qui concerne l'extraction des ressources naturelles. Dans ce domaine, l'ingénieur en génie minier (ou ingénieur des mines) est habituellement le maître d'œuvre. Il aura certainement besoin des connaissances spécifiques

en génie de l'environnement, afin de minimiser les effets négatifs de ses activités sur l'environnement.

I.1. Génie de l'environnement versus science de l'environnement

Comment peut-on comparer **la science de l'environnement** et **le génie de l'environnement** ?

Le rôle d'un scientifique de l'environnement est de comprendre et de documenter les processus qui régissent l'environnement. Cela comprend plusieurs activités :

- a. Comprendre les interactions entre le milieu naturel et les organismes vivants ;
- b. Comprendre, documenter et expliquer les effets des catastrophes naturelles (éruption volcanique, tempêtes, réchauffement global, etc.) ;
- c. Comprendre, documenter et expliquer les effets des activités humaines (rejet des eaux usées, pollution atmosphérique, pluie acide, contamination de sols, etc.) ;
- d. Sensibiliser la population et le gouvernement aux effets néfastes sur l'environnement ;
- e. Exercer des pressions pour que des actions correctrices soient prises.

Lorsque la situation est inacceptable ou lorsqu'elle nécessite des actions correctrices) on fait appel à l'ingénieur. Son rôle est alors de trouver et mettre en place une solution qui permet de résoudre le problème ou de réduire les effets des activités humaines sur l'environnement. Il y a plusieurs niveaux de solution. Dans le passé on se contentait de déplacer le problème ; déverser les substances polluantes loin de la population ou transformer les substances polluantes en d'autres substances polluantes mais moins visibles ou moins dérangeantes. Cela était possible parce que la population était moins importante les quantités de polluants produits étaient plus faibles, moins diversifiés et il y avait plus de place pour en disposer. Ce type de solution n'est plus possible. On parle du syndrome NIMBY « Not In My Back Yard » Personne ne veut que des polluants soient déversés ou entreposés près de chez lui. Il faut donc trouver des solutions durables qui ont un faible impact sur l'environnement. Pour trouver de telles solutions, il faut souvent utiliser des approches différentes telles que :

- a. N'est plus faire l'activité polluante.
- b. Réduire la quantité de rejets polluants.
- c. Traiter les rejets polluants avant leur déversement dans l'environnement.
- d. Recycler les déchets polluants.
- e. Réutiliser les produits.

- f. Modifier le procédé de production pour les rendre moins dommageables pour l'environnement.

Le rôle de l'ingénieur est donc de trouver des solutions, en faire la conception, la construction et la mise en exploitation. L'ingénieur doit tenir compte de plusieurs contraintes. La solution doit permettre de poursuivre les activités, elle doit minimiser les effets négatifs pour l'environnement tout en étant économique. Par exemple, l'ingénieur minier s'occupera des problèmes posés par l'exploitation des mines ou par les rejets miniers. L'ingénieur chimiste travaillera la solution des problèmes posés par l'industrie chimique ou pétrochimique. L'ingénieur mécanique s'occupera de minimiser les rejets gazeux des voitures alors que l'ingénieur industriel s'occupe des rejets de l'industrie manufacturière.

I.2. Histoire du génie de l'environnement

Le génie de l'environnement a vraiment pris son essor avec l'augmentation de la population au 19^e siècle. Ainsi, au début de ce siècle, les conditions sanitaires étaient sommaires. Par exemple dans les grandes villes bien organisées on collectait les déjections dans un contenant appelé « Honey bag » que l'on plaçait le long de la rue. Ce mélange de liquides et solides était collecté dans une citerne tirée par un cheval. Son contenu était déversé sous les terres agricoles, le moins loin possible de la ville afin de minimiser les frais de transport. Toutes les autres eaux et les déchets étaient déversés directement dans la rue ou autour de la maison. Il est donc pas surprenant de constater qu'il y a eu des nombreuses épidémies durant cette période. Les autorités soupçonnaient un lien entre les mauvaises conditions sanitaires et l'écllosion de l'épidémie. Pour faire face à cette situation, Sir Edwin Chadwick propose de drainer les eaux d'égout et de les évacuer loin de la ville de Londres. Il propose aussi de sécuriser les d'approvisionnement en eau potable. La construction du réseau d'égout a été un défi important pour les ingénieurs en génie civil car cela n'avait jamais été fait. Il a fallu tout inventer. Ce réseau d'égout collectait tout ce qui est possible de collecter soit les eaux sanitaires provenant des maisons et des industries ainsi que les eaux de ruissellement provenant de la pluie ou du drainage de terre. On croyait à l'époque que la dilution était une solution. Avec le temps on s'est rendu compte que cela n'était pas le cas et qu'il fallait épurer les eaux avant de les déverser dans l'environnement. Les premières usines d'épuration d'eau ont été construites dans les années 1920. Au Québec (Canada), la plus part des usines d'épuration datent de 1980.

En ce qui concerne la production et la distribution des eaux potables, les choses ont évolué un peu plus rapidement. En effet, le lien avec la santé est beaucoup plus évident et surtout l'aspect esthétique de l'eau influence beaucoup les consommateurs. Les premiers traitements étaient essentiellement de la filtration et de la désinfection. La première filtration a été mise en service en Écosse en 1804. L'objectif du traitement était essentiellement d'améliorer l'aspect esthétique de l'eau. On utilisait alors une filtration lente. Les premières usines modernes sont apparues aux États-Unis après 1880. La désinfection chimique débute en 1900. La première filtration à grande échelle a été mise en service aux USA en 1909. Dans les pays industrialisés l'épuration des eaux usées et le traitement des eaux potables sont en place et fonctionnels. Il y a encore des ajustements à faire au niveau de la réglementation et de l'exploitation de ces ouvrages. Des épidémies d'origine hydriques sont encore observées même dans les pays industrialisés. Il faut donc améliorer les infrastructures, optimiser leur exploitation et aussi les maintenir en bon état de fonctionnement. En ce qui concerne les pays en voie de développement on note un retard important. La production d'eau potable et l'épuration des eaux d'égouts ne sont pas complétées. Les épidémies et contaminations sont plus fréquentes. Les maladies transmises par l'eau et d'origine hydrique affectent les millions de personnes (Le choléra, la dysenterie, la fièvre typhoïde, la poliomyélite, les hépatites A et E) . Il arrive souvent que les eaux des robinets ne soient pas potables. Dans la plupart de cas, le manque des moyens financiers et de volonté politique est la cause de cette situation.

En République Démocratique du Congo (RDC), presque toutes les eaux usées issues des différentes activités des habitants des grandes villes comme Kinshasa, Lubumbashi et Kisangani sont généralement déversées dans les rivières, fleuve Congo et autres cours d'eau. Cela pollue considérablement l'environnement. Pour lutter contre la pollution des eaux, les spécialistes encouragent l'implantation des stations d'épuration d'eau dans toutes les grandes villes de la RDC. En 2011, seulement 21 % de la population de la RDC avait accès à l'eau potable (PNUD, 2011) et cette proportion chute à 12 % en milieu rural. Lors de la célébration de la journée internationale de l'eau en Mars 2020, le ministère congolais des Ressources hydrauliques, a reconnu que « seuls 30% des congolais ont accès facile à l'eau potable en République démocratique du Congo (RDC) jusqu'en cette année 2020 ».

En ce qui concerne la qualité de l'air, les conséquences de la pollution se sont fait sentir plus tard, les règlements et actions correctrices sont donc récents. La principale cause de la pollution de l'air est la combustion du bois, charbon et des hydrocarbures. C'est un problème qui a donc toujours existé. Par contre, il est devenu intolérable vers 1950. La combinaison de conditions atmosphériques défavorables et l'émissions importantes de fumée ou de poussières

ont conduit à des catastrophes dans plusieurs villes et état (Meuse, Londres, Pennsylvanie, etc). Une première loi sur les résidus de combustion a été votée en Angleterre en 1952. Cette loi favorisait la dilution. En effet elle a conduit à une augmentation de la hauteur de cheminée. Il est à noter que contrairement aux eaux usées, il n'est pas possible de collecter toutes les émissions gazeuses et de les diriger vers un centre de traitement unique. Il faut traiter sur le site.

Le contrôle et la disposition des déchets dangereux a pris de l'importance à cause de l'accroissement de l'industrie chimique. La quantité, la diversité et la toxicité des produit ont augmenté. Avant 1970, on se débarrassait de ces produits de la façon suivante :

- a. Déversement dans les décharges municipales ;
- b. Déversement dans les réseaux de collecte des eaux usées ;
- c. Entreposage mal contrôlé ;
- d. Déversement sur le sol, dans les puits, ou dans les cours d'eau.

Actuellement, nous tentons :

- a. De décontaminer les sites,
- b. De trouver et mettre en place des méthodes de traitement et de dispositions sécuritaires pour la population et l'environnement.

Il est à noter qu'un déchet dangereux a au moins une des caractéristiques suivantes : corrosif (pH élevé ou faible) ; inflammable ; réactif (peut causer une explosion) ; toxique.

Depuis quelques années, dans la perspective de développement durable, on favorise l'approche par cycle de vie. C'est une approche qui tient compte de l'ensemble des activités liées à un produit. Ainsi, on tient compte de tous les aspects qui peuvent avoir un effet sur l'environnement tant au niveau de la conception, de l'utilisation et de la disposition du produit. Par exemple, lors de la conception, l'ingénieur prévoit la récupération et la réutilisation de certains produits très dommageables pour l'environnement. A ce stade, il est capital de souligner l'importance de la réglementation. C'est le moteur du développement environnemental.

En effet, peu des personnes sont prêtes à faire les travaux de protection de l'environnement si elles ne sont pas forcées. Elles croient que l'environnement est du domaine public. Le bien public appartient à tout le monde et donc à personne en particulier. C'est la confrontation du

bien personnel du bien personnel versus le bien collectif. La protection du bien public doit être prise en charge par les gouvernements. Ce qu'ils font par l'intermédiaire de la réglementation.

I.3. Approche utilisée dans ce cours

Dans ce cours sur l'environnement et développement durable nous allons parler de quelques composantes de l'environnement, des notions essentielles sur l'étude des impacts sur l'environnement, du concept de développement durable.

Ce cours, s'adressant principalement à des étudiants en ingénierie, devrait permettre l'acquisition des connaissances techniques afin d'exercer des activités professionnelles, cohérentes et éclairées. Il devrait aussi favoriser le développement d'une éthique environnementale nécessaire pour l'exercice de la profession d'ingénieurs dans le secteur minier et industriel. Un cours plus approfondi sur l'environnement et la gestion des rejets miniers suivra dans le cursus universitaire des étudiants candidats ingénieurs des mines.

CHAPITRE II. QUELQUES COMPOSANTES DE L'ENVIRONNEMENT

II.1. Eau et hydrosphère

L'eau est abondante sur la terre, on compte un volume totale d'environ $1,4 \times 10^{18} \text{ m}^3$. C'est suffisant pour supporter toutes les activités humaines. Malheureusement, sa répartition spatiale et temporelle n'est pas uniforme. Certaines régions en reçoivent trop et d'autres pas assez. La qualité de l'eau est affectée dès sa formation. Elle est en contact avec les gaz de l'atmosphère et par la suite avec le sol sur lequel elle ruisselle. Une variable importante qui explique plusieurs variations de qualité est le temps de séjour d'abord avec l'atmosphère ensuite avec le sol. Des temps de séjours moyens sont représentés au tableau 1 :

Tableau 1 : Temps de séjour caractéristiques de l'eau (tiré de Desjardin, 2015)

Endroit de l'hydrosphère	Temps de séjour caractéristique
Atmosphère	9 jours
Rivières	2 semaines
Humidité du sol	1 mois
Grands lacs	10 ans
Eau souterraine peu profonde	10 000 et plus
Couches dans l'océan	120 ans
Grands océans	3000 ans
Eaux souterraines profondes	Jusqu'à 10 000 ans
Glace de l'antarctique	10 000 et plus

L'air et l'eau ont certaines caractéristiques physiques en génie de l'environnement (voir tableau 2).

Il est important de noter que la plupart de ces caractéristiques varient avec la température. Les valeurs de la masse volumique et de la viscosité en fonction de la température sont présentées

au tableau 3. La masse volumique de l'eau est maximale à une température voisine de 5°C. La masse volumique de l'eau diminue quand la température augmente. Sa viscosité augmente avec la baisse de la température, c'est qui explique l'augmentation de la friction.

Tableau 2 : Quelques propriétés de l'eau à 20 °C (Tiré de Desjardin, 2015)

Propriétés	Symboles	Valeurs
Masse volumique	ρ	998 kg/m ³
Viscosité dynamique	μ	1,0 x 10 ⁻³ kg/m s
Viscosité cinématique	ν	1,0 x 10 ⁻⁶ m ² s
Pression de vapeur d'eau	P ⁰ H ₂ O	2316 Pa
Oxygène dissous	DO _{Sat}	9,0 mg/L (à 20 °C, a atm, 21% O ₂)
Concentration molaire	[H ₂ O]	55,55 mol/L

Tableau 3 : Quelques propriétés de l'eau en fonction de la température (Tiré de Desjardin, 2015)

Température (°C)	Masse volumique (ρ) (kg/m ³)	Viscosité dynamique (μ) (kg/m s)	Viscosité cinématique (ν) (m ² /s)
0	999,8	1,78 x 10 ⁻³	1,78 x 10 ⁻⁶
5	1 000	1,52 x 10 ⁻³	1,52 x 10 ⁻⁶
10	999,7	1,31 x 10 ⁻³	1,31 x 10 ⁻⁶
15	999,1	1,14 x 10 ⁻³	1,14 x 10 ⁻⁶
20	998,2	1,00 x 10 ⁻³	1,00 x 10 ⁻⁶
25	997,0	0,89 x 10 ⁻³	0,89 x 10 ⁻⁶
30	995,7	0,80 x 10 ⁻³	0,80 x 10 ⁻⁶
40	992,2	0,65 x 10 ⁻³	0,65 x 10 ⁻⁶

II.2. L'air et l'atmosphère

L'atmosphère contient les 5 principaux gaz suivants : Azote (N_2), oxygène (O_2), argon (Ar) , gaz carbonique (CO_2) et la vapeur d'eau (H_2O) ainsi que des impuretés. Les concentrations des impuretés sont généralement trop faible pour affecter les concentrations des gaz principaux. Les concentrations de gaz principaux sont présentées au tableau 4.

Tableau 4: Concentration des principaux gaz dans l'atmosphère (Tiré de Desjardin, 2015)

Gaz	Masse volumique	% dans l'air sec
Azote (N_2)	28	78,08
Oxygène (O_2)	32	20,95
Argon (Ar)	40	0,93
Dioxyde de carbone (CO_2)	44	0,035
Vapeur d'eau (H_2O)	18	Variable

Les proportions d'azote, oxygène et argon ans l'atmosphère sont constantes dans l'espace et dans le temps, du moins lorsque l'échelle du temps est inférieur au siècle. Par contre, nous n'observons que la concentration de CO_2 augmente de 0,5% par année. Cela serait causé, en grande partie, par la déforestation et par l'utilisation accrue des combustibles fossiles. Enfin, la vapeur d'eau peut varier de 0 dans l'air sec à quelque % dans l'air humide. Dans presque tous les cas, en génie de l'environnement l'air est considéré comme un gaz parfait. Il respecte donc l'équation :

$$PV = nRT$$

n : nombre de moles (mole) ;

V : Volume de gaz (m^3) ;

P : Pression de gaz (atm) ;

T : Température (Kelvin, K) ;

R : Constante de gaz parfaits ($82 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{K}$).

Exercice

II.2.1 Pression partielle

Avec les gaz parfait, on peut exprimer les concentration ou les fractions molaires en terme de pressions partielles. Lorsque le volume de gaz et sa température sont constants on peut écrire :

$$P = \sum P_i$$

$$P_i = n_i RT/V \quad \text{et} \quad P = n RT/V$$

$$P_i/P = n_i/n = Y_i$$

Où :

Y_i : Fraction molaire de la substance i

n_i : Nombre de mole de la substance i

n : Nombre total de mole

P_i : Pression partielle de la substance i

P : Pression totale du gaz

Exercice

II.2.2 Relation entre les concentrations massiques C_i , les concentrations molaires n_i/V et les fractions molaires Y_i

$$C_i = M_{m_i} \times n_i/V \quad \text{et} \quad Y_i = n_i/n \quad \rightarrow \quad C_i = Y_i M_{m_i} n/V$$

$$n/V = P/RT$$

$$C_i = Y_i M_{m_i} \times (P/RT)$$

Exercice

L'atmosphère peut être divisé en plusieurs couches ; la troposphère, la stratosphère, la mésosphère, la thermosphère, l'exosphère et l'ionosphère. En génie de l'environnement on s'intéresse surtout à la troposphère. C'est la couche qui affecte le plus la vie sur terre. Cependant la baisse de l'ozone (O_3) dans la stratosphère et ses effets sur la vie terrestre tend à faire élargir le champs d'activité du génie de l'environnement. Le rôle de l'atmosphère est multiple et essentiel à la biosphère. L'atmosphère transmet la plus part des rayons solaires tout en bloquant le rayonnement infrarouge émis par la terre. C'est la cause de l'effet de serre qui a un effet bénéfique sur l'augmentation de la température à la surface de la terre. L'atmosphère transmet de l'énergie des régions équatoriales vers les pôles à l'aide des vents,

de l'évaporation et de la condensation. C'est ce qui permet de limiter les variations de température à la surface de la terre. L'atmosphère est le réservoir principal de plusieurs substances essentielles à la vie telles que l'azote, l'oxygène, le dioxyde de carbone et l'eau.

II. 3. Les impuretés

Il y a des impuretés dans l'air, l'eau et le sol. On s'intéresse à ses impuretés pour plusieurs raisons :

- Elles constituent un risque pour la santé humaine
- Elles affectent l'esthétique (apparence, goût, odeur et couleur...)
- Elles ont un impact sur l'environnement.

Nous présentons dans cette section des principaux gaz dissouts dans l'eau, l'air et les impuretés les plus intéressantes en génie de l'environnement.

Impuretés dans l'eau

- **L'oxygène (O_2)** : c'est un gaz important car il supporte la vie. De plus il est à la base de plusieurs réactions d'oxydation
- **Le méthane (CH_4)** : c'est le résultat de la décomposition anaérobie de la matière organique. C'est ce que nous appelons un biogaz. Il a une bonne valeur calorifique. Lorsqu'il s'accumule dans des endroits fermés, il devient explosif. CH_4
- **L'ammoniac (NH_3)** : provient de la décomposition de la matière organique. C'est un fertilisant qui peut, d'un côté consommer de l'oxygène et de l'autre favoriser la croissance des plantes incluant les algues.
- **L'acide sulfhydrique (H_2S)** : c'est un gaz très volatil qui résulte de la décomposition anaérobie de la matière organique. Il peut être en concentration élevée dans les eaux souterraines. Lorsque ces eaux sont mis en contact avec l'atmosphère, le H_2S s'échappe rapidement vers l'atmosphère. Il dégage une forte odeur d'œuf pourri.
- **Le dioxyde de carbone (CO_2)** : ce gaz présent en quantité non négligeable dans l'atmosphère, diffuse dans l'eau de pluie dès la formation des gouttes de pluie. Il réagit ensuite avec l'eau et forme de l'acide carbonique, ce qui fait baisser le Ph. Du CO_2 est aussi formé lors de la respiration aérobie des microorganismes.

- **Les substance organiques** : des substances organiques peuvent être dissous dans l'eau. Ce sont toutes les impuretés qui contiennent du carbone à l'exception de CO, CO₂, HCO₃⁻, CO₃²⁻, carbone élémentaire, diamant, graphite et le charbon.
- **Les substances inorganiques** : toutes les substances, à l'exclusion de la matière organique sont des substances inorganiques.

Impuretés dans l'air

Les principales classes d'impuretés dans l'air sont:

- Les particules
- Les gaz organiques
- La vapeur d'eau

La vapeur d'eau n'est pas à proprement parlé un contaminant. Elle fait augmenter l'humidité qui a un effet important sur le confort. A des valeurs extrêmes, cela peut affecter les activités humaines.

a) les particules

On peut subdiviser les particules en 2 grands groupes : les petites particules (diamètre < à 2 µm) et les grosses particules issues de beaucoup plus des phénomènes mécaniques telles que l'usure des freins de voitures, usure du pavage des routes, etc. Le vent sur les chantiers de construction ou sur les exploitations agricoles peut aussi faire augmenter le nombre des particules dans l'atmosphère. Elles peuvent aussi provenir de la combustion du bois, du charbon ou de tout autre combustible. La plupart des particules fines sont des résultats des réactions chimiques dans l'atmosphère telle que la condensation ou la précipitation. **La concentration des particules dans l'air** est le nombre de particules par unité de volume de l'air, par exemple 10⁴ particules par mètre cube d'air et **la masse volumique des particules** est la masse des particules divisée par les volumes des particules. Par exemple les grains de sable dans un filtre ont une masse volumique de 2700 kg/m³. Le nombre de particules dans l'air est habituellement très élevé, il peut être de l'ordre de 10¹⁰/cm³. Chaque particule à une origine, une taille, une composition qui lui est propre. Il serait difficile de tenir compte de toutes ces variables lors des mesures. On utilise donc des méthodes de mesure globale. Une méthode ancienne est encore utilisée est la concentration totale des particules en suspension soit TSP (Total Suspended Particles). C'est la masse totale des particules par unité de volume

d'air. Le résultat de cette mesure est fortement influencé par les grosses particules. Il est difficile de faire le lien entre TSP et les effets sur la santé car ce sont surtout les petites particules qui ont un effet sur la santé. Une méthode tenant compte de la taille des particules a donc été proposée. On mesure toutes les particules qui ont un diamètre égal ou inférieur à une taille x , c'est le PM_x . La valeur de x est exprimée en micromètre. Deux variables sont souvent utilisées le PM_{10} et PM_{25} . Le PM_{10} représente la concentration de toutes les particules qui ont un diamètre égale ou inférieur à $10\ \mu m$.

b) Les polluants gazeux organiques

Les polluants gazeux organiques peuvent être nombreux dans l'atmosphère, surtout au-dessus des villes. Les concentrations de ces polluants sont de l'ordre du ppm ou même moins. Leurs concentrations n'est donc pas suffisante pour affecter de façon notable la concentration de gaz principaux constituants l'atmosphère. Quatre polluants gazeux méritent une attention particulière soit : 1) le monoxyde de carbone (CO), 2) le dioxyde d'azote (NO_2), 3) le dioxyde de soufre (SO_2) et 4) l'ozone (O_3).

En génie de l'environnement, le pH de l'eau varie habituellement de 0 à 10 selon le type d'eau et le procédé de traitement utilisé.

II.4. caractéristiques importantes de l'eau

II.4.1 Le pH

On peut dire que l'eau est soluble dans l'eau. En effet, une fraction des molécules d'eau aura tendance à se décomposer, on observe alors :



$$pH = -\text{Log}_{10} [H^+]$$

L'eau est neutre à un pH de 7, elle est acide lorsque le pH est inférieur à 7 et basique à un pH supérieur à 7. En génie de l'environnement, le pH varie habituellement entre 5 et 10, selon le type d'eau et selon le procédé de traitement utilisé. C'est une variable très importante. Il est donc important de pouvoir prédire les variations de pH en fonction des substances qui sont dissoutes dans l'eau. Les substances qui ont le plus d'effet sur le pH sont les acides les bases.

II.4.2 Les ions dans l'eau

Les ions sont des atomes ou des molécules qui affichent une charge électrique. Les cations sont les ions positifs alors que les anions sont les ions négatifs. Les principaux ions présents dans les eaux naturelles sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5: Principaux ions dissous dans les eaux naturelles (Tiré de Desjardin, 2015)

Noms	Symboles	Eau de mer [M]	Eau d me rivière [mM]
Sodium	Na^+	0,47	0,23
Magnésium	Mg^{2+}	0,053	0,15
Calcium	Ca^{2+}	0,01	0,33
Potassium	K^+	0,01	0,03
Chlorure	Cl^-	0,55	0,16
Sulfate	SO_4^{2-}	0,028	0,07
Bicarbonate	HCO_3^-	0,0024	0,86

II.4.3 Électroneutralité d'une solution

Une solution ne peut pas avoir de charge électrique nette. On observe donc la relation suivante :

$$\sum (\text{Normalité des ions négatifs}) = \sum (\text{normalité des ions positif})$$

$\sum [\text{anions}_i] \times Z_i = \sum [\text{cations}_i] \times Z_i$ en [mol/L], avec Z_i le nombre des protons échangeable dans les réactions acide-base ou nombre d'électron.

Cette expression est utile pour relier les concentration de tous les ions, pour vérifier si l'analyse de l'eau est complète. Ou pour trouver une concentration manquante.

Exercice

II.4.4 Force ionique

La force ionique est une indication des interactions électrostatique entre les ions contenus dans une eau. C'est une variable qui dépend de l'ensemble des ions présents dans une solutions, elle est définie par l'expression suivante :

$$I = 1/2 \sum [C_i] \cdot Z_i^2$$

Les concentration C_i sont en mol/L, Z_i est sans unité et I est en mol/L.

La force ionique n'est affecté que par les ions. Plus un ion a une charge électrique élevé, plus in contribuera à la force ionique. La force ionique a une influence sur les constantes d'équilibre.

II.4.5 Alcalinité

L'alcalinité d'eau peut être décrite de 3 façon suivantes:

- capacité d'une eau pour neutraliser un acide
- la quantité des protons H^+ qu'il faut ajouter à une eau pour faire baisser son pH à 4,5
- la somme des concentrations normales des ions bicarbonate, carbonate et hydroxyle moins les protons

$$Alc = [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] + [OH^-] - [H^+] \text{ en mol/l}$$

II.4.6 la durezza

Elle est causée par l'ensemble des ions positifs (cations) multivalents. Dans les eaux naturelles, les deux ions positifs les plus abondants sont Ca^{2+} et Mg^{2+} . Les autres ions positifs sont en concentration très faible à cause de leur abondance limitée dans la croûte terrestre, soit parce que ces éléments sont très peu solubles dans l'eau. Comme règle générale, nous considérons que la durezza totale est la somme des ions calcium et magnésium. Elle peut être exprimée en mol/L ou en unité dérivées de la normalité (meq/L, mg $CaCO_3$ /L). On peut classer la durezza de la manière suivante :

- $(DT) = (Ca^{2+}) + (Mg^{2+})$ (durezza totale)
- $D_{Ca} = Ca^{2+}$ (durezza calcique)
- $D_{Mg} = Mg^{2+}$ (durezza Magnésienne)
- DC (durezza carbonatée ou durezza équivalente à la calcite)
- DNC (durezza non carbonatée ou durezza non équivalente à l'alcalinité)

Afin de déterminer les valeurs des duretés carbonatée et non carbonatée, il faut retrancher l'alcalinité de la dureté totale, il faut prendre soin d'exprimer ces deux variables dans un système d'unités basés sur la normalité. Le résultat de cette soustraction permet de déterminer le type de dureté et sa valeur. Deux cas peuvent se présenter :

Cas 1 : la dureté totale est plus élevée que l'alcalinité. Dans ce cas, on calcule les duretés carbonatée et non carbonatée de la façon suivante :

$$(DNC) = (DT) - (Alc)$$

$$(DC) = (Alc)$$

Cas 2 : L'alcalinité est plus élevée que la dureté totale. Dans ce cas, toute la dureté est carbonatée, on a : $(DC) = (DT)$ et $(DNC) = 0$

Exercice

II.4.7 la turbidité

La turbidité est causée par un ensemble des particules qui gênent le passage de la lumière. Cela se traduit par une perte de transparence de l'eau. Le nombre et la taille des particules ont un effet sur cette variable. Les tailles les plus efficaces pour disperser la lumière est de l'ordre de 0,4 à 0,7 μ m. La turbidité affecte surtout l'aspect esthétique de l'eau. Il n'a pas été possible d'établir une relation entre la turbidité et la salubrité de l'eau. Par contre c'est une variable très utilisée pour le contrôle de la production d'eau potable. En effet il a été noté qu'une usine qui arrête la turbidité arrête aussi les microorganismes. Enfin mentionnons que la turbidité peut avoir un effet important sur les écosystèmes. Une augmentation importante de la turbidité de l'eau d'une rivière peut limiter la pénétration de la lumière ce qui affecte plusieurs organisme aquatiques. La plus part des particules qui affecte la turbidité sont d'origine minérale.

II.4.8 la couleur

La couleur des eaux naturelles est causée en grande partie par la matière humique dissoute dans l'eau. Cette matière est le résultat du contact de l'eau avec le débris organique tel que des feuilles d'arbre, des aiguilles de conifères ou des sapins, du bois en décomposition. Les particules causant la couleur sont donc d'origine organique avec une densité relative faible et une charge électrique nette négative.

II.4.9 Les particules

Les unités de mesure des particules sont différentes dépendamment que l'on se trouve dans l'air ou dans l'eau. Tel que vu précédemment, les concentrations des particules dans l'air sont surtout exprimées en nombre des particules par unité de volume, par exemple 10^4 particules par mètre cube d'air. Dans l'eau on utilise les concentrations massiques (g/m^3).

Une caractéristique importante des particules est leur masse volumique. Les particules minérales provenant de l'érosion des terres ont une masse volumique de l'ordre de 2500 kg/m^3 . Les matières organiques ont une masse volumique beaucoup plus faible, souvent légèrement supérieur à 1000 kg/m^3 . A cause de la grande diversité des particules (tailles, nature, etc.) nous utilisons surtout des mesures globales pour les quantifier et les qualifier. Différents critères sont utilisés pour classifier les particules dans l'eau.

Les particules sédimentaires : Ce sont des particules qui ont un diamètre égal ou supérieur à $10 \mu\text{m}$. On peut le retirer de l'eau facilement en utilisant un bassin de décantation.

Les particules filtrables : Ce sont toutes les particules qui sont retenus par un filtre qui a des pores de $1,2 \mu\text{m}$. Ces particules pourront être facilement enlevés en utilisant un filtre au sable.

Les particules colloïdales : Ce sont toutes les particules qui passent à travers un filtre qui a des pores de $1,2 \mu\text{m}$.

Les particules volatiles : Ce sont des particules que l'on peut volatiliser par chauffage à 550°C . La plus part de ces particules sont constituées des matières organiques qui sert de nourritures à de nombreux microorganismes.

Les particules non volatiles : Ce sont les particules que nous ne pouvons pas volatiliser à une température de 550°C . Elles sont habituellement constituées de matières minérales.

L'ensemble des particules dans l'eau sont appelées matières en suspension (MES). Ces MES sont divisées en plusieurs catégories, les principales sont :

- Total Solids (TS) : Toutes les matières solides quelles que soient leurs tailles
- Suspended Solids (SS) : Toutes les matières retenues sur un filtre ayant les pores de $1,2 \mu\text{m}$.
- Total Dissolved Solids (TDS) : Toutes les matières qui passent à travers un filtre de $1,2 \mu\text{m}$
- Total Volatile Solids (TVS) : Toutes les matières solides volatiles

- Volatile Suspended Solids (VSS) : Toutes les matières volatiles en suspension, c'est-à-dire toutes les matières qui ont une taille supérieures à 1,2 μm

Il peut être difficile de faire la différence entre les matières dissoutes, particulièrement organiques et inorganiques. Des hypothèses simplificatrices sont utilisées.

- Toutes les matières qui ont une taille inférieures à 1,2 μm sont considérées comme étant dissoutes
- Toutes les matières qui ont une taille supérieures à 1,2 μm sont considérées comme être des particules
- Un chauffage à 550 °C permet d'évaporer l'eau sans perdre les matières contenues dans l'eau
- Un chauffage à 550 °C permet de volatiliser la matière organique sans perdre la matière minérale.

La méthode est sommairement décrite par la figure reproduite ci-après :

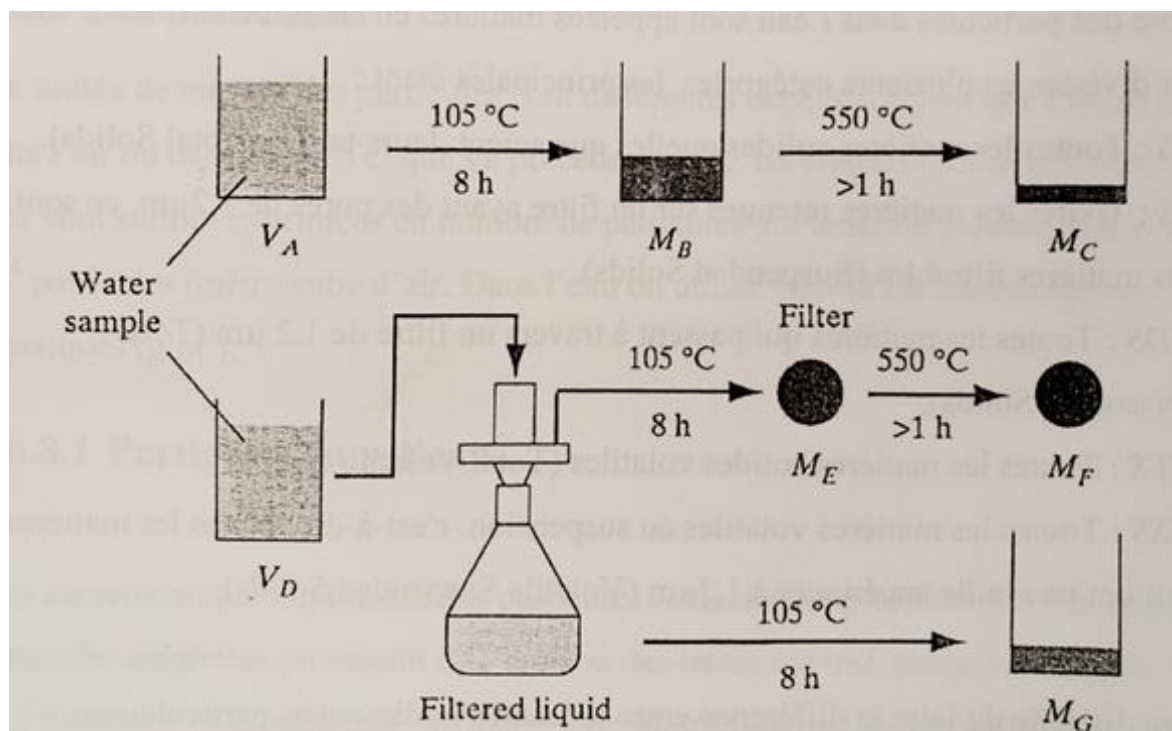


Figure 1 : Diagramme illustrant la méthode de mesure des matières organiques (tirée de Desjardin, 2015)

$$\text{TS} = M_B / V_A$$

$$\text{TDS} = M_G / V_D$$

$$\text{SS} = M_E / V_D$$

$$TVS = M_B - M_C / V_A$$

$$VSS = M_E - M_F / V_D$$

II.4.10 Impuretés organiques

Ce sont toutes les substances qui contiennent du carbone à l'exception des impuretés inorganiques définies précédemment. Cela représente plusieurs milliers de substances différentes, d'origine naturelle ou humaine. La présence de ces impuretés en concentration excessive peut avoir différentes conséquences : croissances de microorganismes, consommation d'oxygène, risque pour l'environnement, risques sanitaires, dégagement de mauvaises odeurs, interférence avec les procédés de traitement.

Les sources principales de matières organique dans les eaux des lacs et des rivières sont les déversement d'eau d'égout non traitées. Ces eaux contiennent de la matière organique, des nutriments et des microorganismes. Ces derniers consomment de la matière organique, des nutriments et de l'oxygène. La baisse de l'oxygène est compensée par la diffusion à partir de l'atmosphère. Lorsque la consommation d'oxygène dissous est trop rapide et importante, il se développe des conditions anaérobiques dans l'eau. Cela peut avoir des effets catastrophiques sur la faune aquatique. Il est possible de relier la consommation de matière organique à la consommation d'oxygène. Cela est très utile car la mesure de l'oxygène dissous est beaucoup plus facile à faire que la mesure de la matière organique. Il est possible d'établir une relation entre la quantité de matière organique et la quantité de l'oxygène consommé durant une certaine période. C'est ce qu'on appelle la demande en oxygène (DO).

Demande en oxygène (DO)

C'est la quantité totale d'oxygène nécessaire pour dégrader la matière organique dans une eau. Afin que cette méthode de mesure soit valable, il faut s'assurer qu'il ait toujours suffisamment d'oxygène pour supporter les microorganismes. La demande en oxygène dépend alors seulement de la quantité de la matière organique contenue dans l'eau. Il y a plusieurs façons de déterminer la DO. On peut le faire de façon théorique. On doit connaître la formule chimique de la substance contenue dans l'eau ainsi que l'équation chimique de sa réaction avec l'oxygène dissous jusqu'à une oxydation complète soit jusqu'au CO₂.

Exercice

Il est rare que nous connaissions, la formule chimique de toutes les substances contenues dans une eau ainsi que toutes les réactions de ces substances avec l'oxygène. Dons pour les eaux d'égout municipaux nous utiliserons habituellement une méthode globale basée sur la consommation d'oxygène par les microorganismes. C'est ce que nous appelons la demande biochimique en oxygène (DBO). Lorsque cette demande est mesurée pendant 5 jours nous la nommons DBO₅. La méthode de mesure de la DBO est basée sur certaines hypothèses :

- les microorganismes ne manquent jamais de l'oxygène,
- les microorganismes consomment à la fois de la matière organique et de l'oxygène. Il y a donc un lien entre la consommation de l'oxygène et la consommation de la matière organique. La baisse de l'oxygène est donc un bon indicateur de la quantité de la matière organique qui a été consommée.
- Après une période très longue, on suppose que toute la matière organique a été consommée.

Pour bien comprendre cette méthode et bien interpréter les résultats, il faut avoir des notions d'oxydation et de cinétique de réaction que nous verrez dans le cours de chimie.

II.4.11 Microorganismes

Par définition, les microorganismes sont tous les organismes vivants qui ont une taille inférieure à 100 µm (0,100 mm). Ils sont très importants en génie de l'environnement. Ils aident à dégrader la nourriture, à décomposer la matière organique, à recycler les nutriments, à éliminer plusieurs polluants. Sans eux le cycle de la vie s'arrête. Certains microorganismes sont pathogènes, ils peuvent causer des maladies chez l'humain ou chez les animaux. Les principaux types de microorganismes sont les bactéries, les virus, les algues, les fungus et les protozoaires.

1. **Les bactéries** : Sont très abondantes dans l'environnement. Elles ont une taille de l'ordre de 1 µm. La plus part de ces microorganismes pathogènes proviennent des excréments humains ou animaux. A l'intérieur de leurs hôtes, elles ont une espérance de vie relativement courte, de l'ordre de quelques jours. De plus elles ne peuvent pas s'y reproduire. Ces sont des bactéries que l'on peut inactiver facilement avec un désinfectant chimique tel que le chlore. Afin de déterminer si une eau est potable on recours aux indicateurs bactériens. Les plus utilisées sont les coliformes totaux et les coliformes fécaux.

2. **Les virus** : Ces sont des fragments de molécules géniques entourés des protéines. Sans une cellule hôte, ils ne peuvent pas se reproduire, générer de l'énergie ou faire d'autres activités. Par contre ils peuvent survivre en état végétatif durant de longues périodes. Pour se reproduire ils doivent donc infecter une cellule et en prendre le contrôle. Leur taille varie de 0,1 à 0,4 μm . Ils sont présents dans l'eau, l'air et les sols.
3. **Les algues** : Sont des microorganismes presque photo-autotrophes. Elles utilisent la chlorophylle pour convertir le rayonnement solaire en énergie. Quoiqu'elles vivent habituellement dans l'eau, on peut en trouver dans les sols. La plus part d'entre elles ont une taille microscopique. Les algues jouent un rôle important dans le cycle de carbone et de l'oxygène. De plus elles contribuent de façon importante au maintien de différentes forme de vie dans les océans. A l'aide de la photosynthèse elles consomment du CO_2 et rejettent de l' O_2 . La croissance rapide et massives des algues, aussi appelée « bloom algal » est la conséquence de déversement de nutriment dans l'eau. Les principaux nutriments sont l'azote et le phosphore. Ces nutriments proviennent en grande partie de déversement des eaux usées plus ou moins bien traitées et du ruissellement sur les terres agricoles

Exercice

CHAPITRE. III DEFINITION ET MISE EN CONTEXTE DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

L'étude d'impact sur l'environnement (EIE) dont il sera question dans ce chapitre, s'inscrit dans un système intégré d'évaluation environnementale. Mais avant de présenter plus en détails ce système intégré, il convient de définir et d'expliquer les termes qui seront utilisés dans ce chapitre, soit ceux d'environnement, d'impact, d'évaluation.

III.1. Notions essentielles

L'expression évaluation des impacts sur l'environnement comprend 3 termes dont nous allons préciser l'origine et le contenu.

III. 1.1. Environnement

Il tire son origine du verbe environner, il a 3 définitions principales :

1. ce qui nous entoure, qui constitue le voisinage
2. l'entourage habituel d'une personne, milieu dans lequel il vit
3. l'ensemble des éléments naturels et artificiels qui conditionnent la vie humaine.

Le Grand Robert se fait plus précis : Ensemble des conditions naturelles (physiques, chimiques, biologiques) et culturelles (sociologiques) susceptibles d'agir sur les organismes vivants et les activités humaines

Le tableau 6 représente les relations qu'entretient l'être humain, seul ou en société, avec son milieu. Nous divisons l'environnement en quatre ensembles des composantes ¹:

- Composantes biophysiques : les éléments naturels tels que la topographie, le climat, la flore et la faune
- Composantes structurelles : les éléments qui établissent la base de fonctionnement des communautés.
- Composantes d'activités : l'ensemble des places et des lieux d'interaction sociales.
- Composantes générales de la communauté : Les éléments grâce auxquels on peut envisager les communautés comme des entités cohérentes aptes à fournir certains services et faisant preuve de certaines qualités : les biens (variété, durabilité, beauté etc), les services (organisation sanitaire et de la sécurité, structures de loisir, services

¹ Inspiré de Milbrath (1979) cité par Delisle et al. (2010).

économiques, services publics, la structure de confort, les institutions spirituelles, les institutions publiques (fonctionnalité, degrés de protection de l'environnement).

Les relations que l'être humain entretient avec l'environnement insufflent une dynamique au système. Ces relations peuvent être affectives-sensorielles ou fonctionnelles (André et Bitondo, 2002 cité par Delisle et al., 2010). Elles varient selon les caractéristiques individuelles : âge, sexe, scolarité, revenu, origine ethnique).

Tableau 6 : un modèle conceptuel des relations entre l'être humain et son environnement (tiré et modifié de Delisle et al., 2010)

Composantes de l'environnement	Composantes biophysiques	Composantes structurelles	Composantes d'activités	Composantes générales de la communauté
	Qualité de l'air Qualité de l'eau Ambiance sonore	Habitants Paysages	École Lieu de travail Lieu de repos	Biens Services Conforts
Relations à l'environnement	Affectives-sensorielles		Fonctionnelles	
	Tranquillités Sécurités Esthétique Sociabilité		Pollutions Aménagement Nuisances Rapports culturels	

Par ailleurs, le développement est un concept à l'échelle multiple (tableau 7). *Par micro-environnement*, on désigne l'environnement de plus petite dimension, à l'échelle ou de la famille. *Le méso-environnement* va de pair avec un groupe élargi d'intérêt commun, d'ordre culturel, social, économique ou autre. Enfin, les problèmes globaux tels le changement climatique ont trait au *macro-environnement* et concerne l'ensemble de l'humanité.

Tableau 7 : Les échelles de l'environnement (tiré et modifié de Delisle et al., 2010)

Echelle	Système de reference	Exemple des projets
Micro-environnement Milieu de vie Résidence Quotidien	Un individu Un groupe restreint	Construction d'une maison Aménagement des parcs
Méso-environnement Ville Région L'état	Un groupe élargi d'intérêt commun (culture, social, économie,...)	Construction d'un barrage à des fins de production de l'énergie
Macro-environnement Le continent La terre	La société L'espèce humaine	La lutte contre la désertification La lutte contre le changement climatique Protection de la couche d'ozone

III.1.2. Impacts

De façon générale, un impact sur l'environnement peut se définir comme l'effet positif ou négatif pendant un temps donné et sur un espace défini, d'une action humaine sur une composante de l'environnement pris dans son sens large (c'est-à-dire englobant les aspect biophysique et humaines), en comparaison de la situation advenant la non-réalisation du projet (Wathern, 1988, cité par Delisle et al., 2010). Cette définition propose que l'environnement peut être diviser en composantes elementaires. Elle neglige le fait qu'une intervention planifiée peut avoir, globalement, des incidences sur l'environnement superieures à celles de chacune de ses composantes. La définition plus globale d'un impact sur l'environnement qui a été suggéré est la suivante : un effet , direct ou indirect, immediat ou à long terme, d'une intervention planifiée (projet, programme, plan ou politique) sur un environnement decrit comme un système organisé, dynamique et evolutif où les êtres vivants s'activent, où les activités humaines ont lieu et où des relations affectivessensorielles et fonctionnelles s'expriment. Ces effet se manifestent dans un intervalle de temps donné et sur une aire géographique definie.

La figure 2 illustre le defi que represente la mesure d'un impact. L'étude d'impact est réalisé à l'étape de l'avant-projet, moment auquel les plans definitif du projet ne sont pas encore arrêté. Cette étape se situe, en particulier dans le cas de grands projets, quelques années avant la réalisation de l'intervention. Ainsi l'EIE se fonde sur une connaissance du milieu au temps t_0 , et sur l'estimation bien incertaine de l'évolution de cet indicateur dans le temps. La grandeur

de l'impact (la seule dimension graphiquement representable) telle que reflétée par cet indicateur est relié de façon causale au projet, pourrait correspondre à la différence entre la situation projetée de cet indicateur au temps t_2 avec le projet et sans le projet ($I_3 - I_2$); comparer la situation projetée avec le projet en opération (I_3) à la situation actuelle (I_0) aurait pour conséquence d'accroître demesurement l'impact de l'intervention dans le cas où la valeur de l'indicateur augmente dans le temps, que le projet ait lieu ou non. Mais quelle que soit la tendance de l'indicateur et la grandeur de l'impact, une telle comparaison tient pour acquis que le système environnemental qui accueillera le projet est statique ou neglige l'intervalle de temps entre l'évaluation des impacts et l'opération de l'intervention proposée, comme si celui-ci tendait vers 0. Ces deux hypothèses sont peu réalistes pour les projets d'envergure, qui ne sont parfois complétés que 5 ou 10 ans après que l'étude d'impact a été produite et le projet autorisé. Enfin, la période de temps considérée comme situation future en cours d'opération est particulièrement critique puisqu'elle peut occulter un impact significatif si elle est trop longue. Par ailleurs, plus l'échelle temporelle des prédictions est grande, plus l'incertitude des estimés augmente.

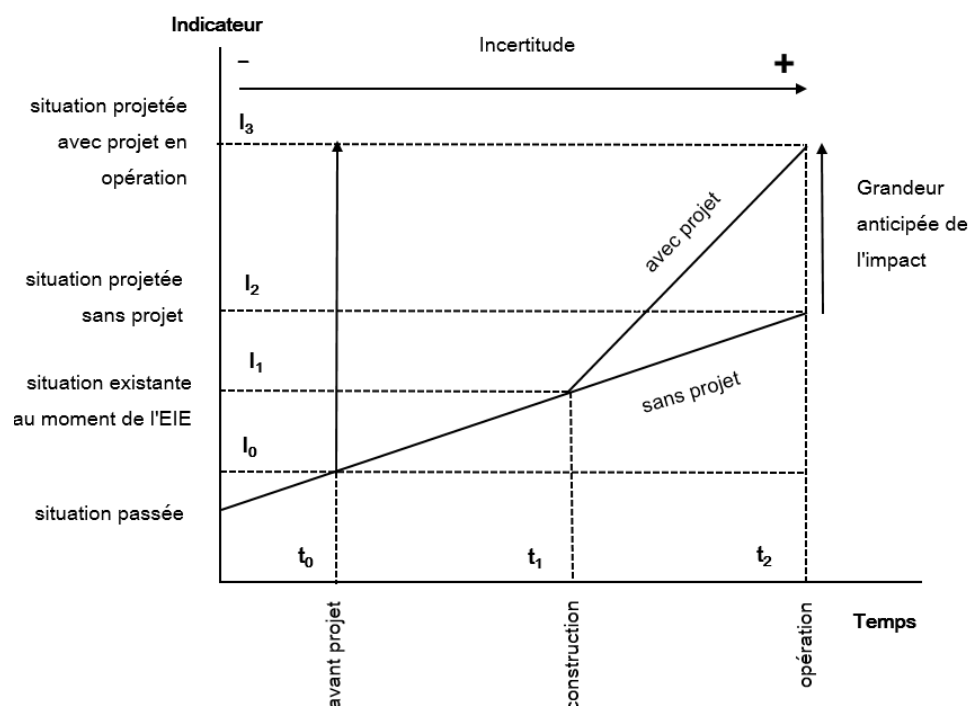


Figure 2 : Évolution temporelle d'un indicateur environnemental avec et sans réalisation du projet (tiré et modifié de Delisle et al., 2010)

I_0 : situation existante au moment de l'EIE

I₁ : situation projetée au moment de la construction du projet

I₂ : situation projetée sans projet

I₃ : situation projetée avec le projet en opération

Nous reconnaissons à la notion d'impact trois dimensions principales : la grandeur, l'importance et la signification (Figure 3). **La grandeur d'un impact** désigne le changement de la mesure d'une variable de l'environnement dans lequel s'insère un projet. Cette grandeur peut consister en une mesure (ex. la superficie d'un peuplement forestier inondé par la mise en eau d'un barrage) ou en une prédiction (ex. l'accroissement du niveau sonore suite à la construction d'un projet routier). **L'importance d'un impact** constitue pour sa part un jugement porté par l'expert sur l'importance des modifications anticipées qui tient compte du contexte d'insertion spatiale et temporel du projet. Ce jugement peut s'appuyer sur différents critères, dont les principaux sont mentionnés au tableau 8. La troisième dimension est **la signification d'un impact**. Il s'agit de la valeur variable qu'accorde chacun des acteurs aux deux caractéristiques précédentes. Pour les communautés locales, elle est le reflet de l'appropriation de leur espace de vie, de la façon dont elles y vivent, dont elles le perçoivent et désirent le voir évoluer.

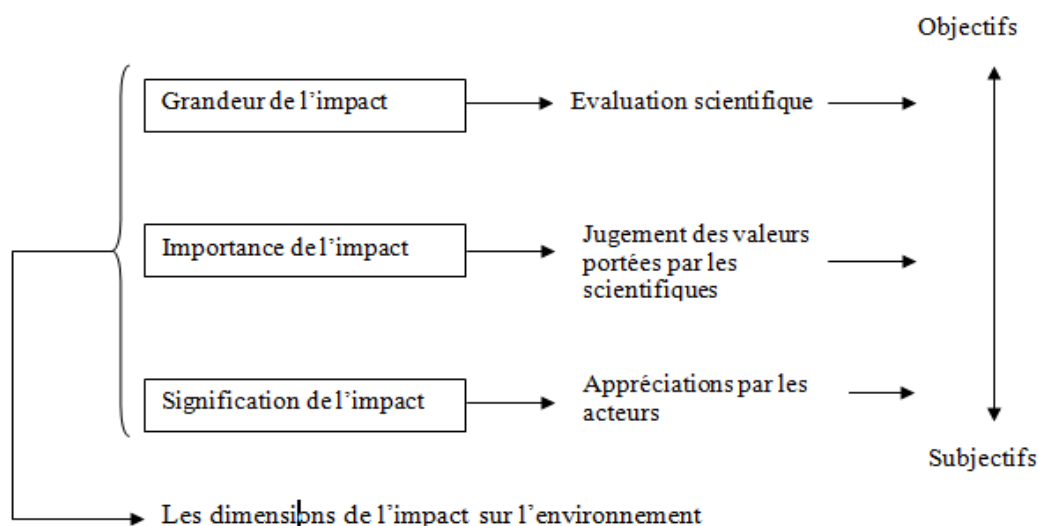


Figure 3 : Évaluation des dimensions d'un impact selon une échelle d'objectivité – subjectivité (modifié de Delisle et al., 2010)

En plus de ces trois dimensions, un impact peut porter un ensemble des qualificatifs :

1. **Un impact direct** c'est une relation de cause à effet entre une composante du projet et un élément de l'environnement.
2. **Un impact indirect** : découle d'un impact direct et lui succède dans une chaîne de conséquences.
Ex: la contamination des poissons par le CN.
3. **Un impact cumulatif** : c'est le résultat d'une combinaison d'impacts généré par un même projet ou par plusieurs projets dans le temps (passé, présent ou avenir).
4. **Un impact résiduel** : c'est qui reste après avoir l'application d'une mesure d'atténuation.

Exemples pour chaque type d'impact

III.1.3. Évaluation

Evaluer les impacts apparaît comme un art essentiellement subjectif qui consiste à porter un jugement des valeurs sur le degré d'influence qu'aura une activité sur l'environnement et sur l'importance des conséquences de l'ensemble du projet sur l'environnement.

Ces jugements en E.I.E doit cependant être fondés, c'est-à-dire s'appuyer sur une connaissance du milieu (mesures, observations etc.) des connaissances scientifiques et du savoir traditionnel.

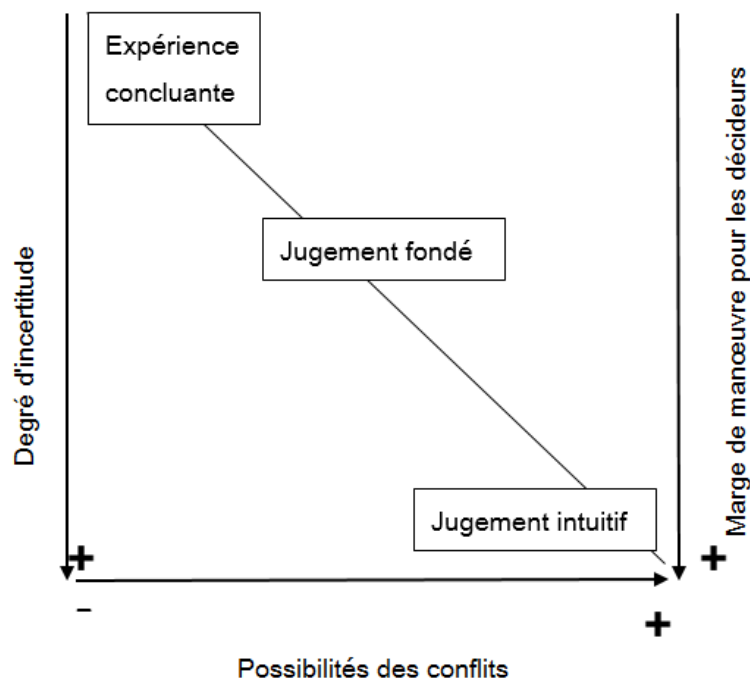


Figure 4 : La science, l'incertitude et la décision (tiré et modifié de Delisle et al., 2010)

La figure 4 ci-dessus illustre les conséquences du choix du modèle évaluatif sur la décision. *Une expérience concluante* est un type d'expérience analytique caractéristique de la physique mécanique et de la chimie analytique, par exemple ; son résultat, fondé sur l'expérience et les modèles reconnus, est très prévisible exempté d'incertitude et généralement indiscutable.

A l'opposé, un *jugement* purement *intuitif* porté sur un milieu et les conséquences d'une innervations sur ce milieu posé sans cueillette des données, qu'elles soient anciennes ou récentes donnent des résultats habituellement discutable, empreints d'une grande incertitude, qui laisse aux décideurs l'entière latitude pour prendre une décision.

III.2. Évaluation des impacts sur l'environnement et Évaluation Environnementale

L'EIE ou encre l'étude des impacts sur l'environnement ou évaluation environnementale est une procédure d'examen des conséquences anticipées tant bénéfique que néfaste, d'un impact sur l'environnement dont le but est de s'assurer que ces conséquences sont dûment pris en compte dans la conception du dit projet. L'EIE tient compte à la fois des impacts biophysique et des impacts humains. Elle inclut toute une gamme d'évaluations spécialisées, comme celles portant sur les impacts sociaux, les impacts économiques, les impacts sur la santé, et l'analyse de risque qui sont conduit dans le cadre de l'évaluation des projets. L'évaluation environnementale se compose d'un ensemble des processus qui vise la prise en compte de l'environnement dans la planification ou le développement d'opération des projets, des programmes, des plans ou politiques. Avant de traiter plus en détails des EIE, voyons rapidement l'utilité et le contexte d'application de chacun des autres processus composant le système d'évaluation environnementale.

Les **études et stratégies environnementales (ESE)** donnent lieu à des analyses multisectorielles globales de l'environnement. Elles supposent l'examen de l'évolution dans le domaine de la qualité de l'environnement et de l'utilisation des ressources naturelles, ainsi que l'analyse des problèmes d'ordre juridique, économique, social et institutionnel que pose la gestion de ces ressources.

L'évaluation environnementale stratégique (EES) se définit comme un processus d'évaluation et d'examens des politiques, plans et programmes ou d'autres initiatives en amont du projet.

Tableau 8 : La gamme des processus de l'évaluation environnementale (Delisle et al., 2010)

Processus	Contexte d'application
Etude et strategies environnementales (ESE)	Etat de l'environnement et de sa gestion à différentes échelles Plan d'action environnemental
Evaluation environnementale stratégique (EES)	Programmes, plans et politiques Secteurs (énergies, mines, tourisimes,...) Investissements régionaux
Analyse du cycle de vie	Energie et matériaux utilisés et émis dans l'environnement depuis la conception d'un produit jusqu'à son élimination
Système de gestion environnementale	Activité de planification, de construction ou de modernisation Conformité des opérations avec les lois, règlements, programme ISO 14000

L'évaluation du cycle de vie qui est un processus de niveau stratégique a plusieurs fonctions

- Évaluer les pressions environnementales associées à un produit, à un processus ou une activité en établissant et en quantifier l'énergie et les matériaux utilisés et relâchés dans l'environnement.
- procédé à EIE de cette énergie et ces matériaux
- déterminer et évaluer les possibilités d'apporter les améliorations environnementales.

Le processus de cycle de vie entier du produit, du procédé industriel et des services, y compris l'extraction et le traitement des matières première ; leur manufacture, leur transport et leur distribution ; leur usage, leur réutilisation et leur entretien ; enfin, le recyclage et leur disposition finale.

Les systèmes de gestion environnementale

Ils visent, au sein d'une organisation, l'intégration systématique des préoccupations environnementales dans les activités de planification de construction et de modernisation des équipements. Il s'agit de l'engagement volontaire ou obligatoire que prend une organisation de tenir compte des préoccupations environnementales dans ses pratiques de gestion.

L'application d'un système de gestion environnementale conduit à la conception et à la fourniture de produits et services sans impacts indus sur l'environnement ainsi qu'à l'élaboration, à la conception et à l'exploitation des installation ou à la conduite des activités

qui prennent en considération l'utilisation efficace de l'énergie et des matériaux, l'utilisation durable des ressources renouvelables, la minimisation des atteintes à l'environnement et de la production des matières résiduelles ainsi que l'élimination sûre et responsable des déchets résiduels.

Les audits d'environnements (*Environmental audits*) ou les vérifications environnementales, appliquées au sein d'organisation existante sont un outil de gestion qui comprend une évaluation systématique, documenter, périodique et objective de la manière dont fonctionne l'organisation, la gestion et les matériels en matière environnementale, dans le but de contribuer à la sauvegarde de l'environnement. Contrairement à ceux d'EIE, les résultats d'audits environnementaux sont et devraient être effectués sur une base volontaire et demeurer un processus interne à l'organisation. Toute fois les organisation sont invitées à rendre publique leur performance environnementale par la production de rapports dédiés à l'environnement et au développement durable ou par l'insertion d'un volet environnement à leurs rapports annuels. Tous les processus que nous venons de décrire s'imbriquent pour former **le système intégré d'évaluation environnementale**.

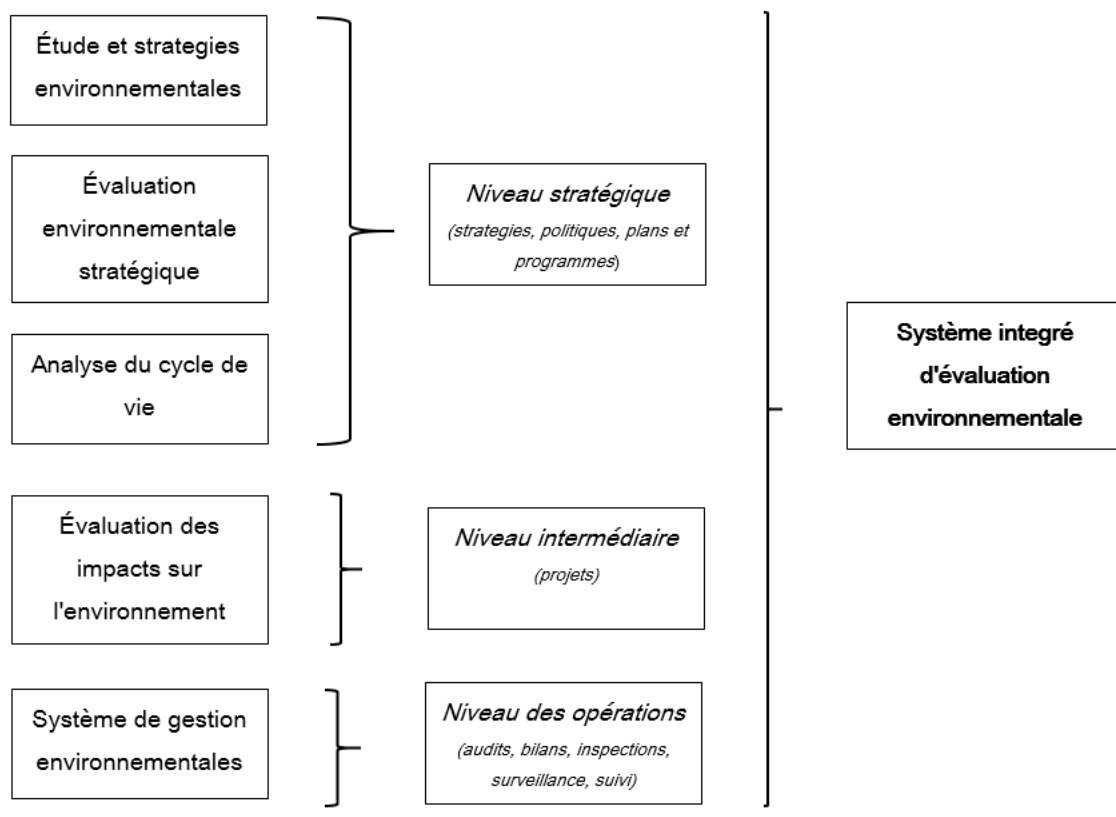


Figure 5 : L'imbrication des processus en un système global d'évaluation environnementale.
(Tiré et modifié de Delisle et al., 2010)

III.3 EIE : Contenu et façon de faire

L'évaluation environnemental est un sujet d'intérêt planétaire. Au-delà de différence de vocabulaire, on observe aussi les grandes variations dans le processus mis en place selon les états. Toutefois il demeure possible de dresser le portrait d'un processus général d'EIE. Le tableau 9 décrit les phases de ce processus alors que la figure 6 en illustre l'ordonnancement. Après avoir résumé le processus, nous traiterons de chacune des phases en détails

III.3.1 Processus général

Le processus d'EIE s'enclenche au moment où un maître d'ouvrage décide de réaliser un projet et, dans certains contextes, où il en avise l'organisme responsable des EIE. Cet **avis de projet** (project notice) comporte généralement une description du projet et de sa localisation, ainsi qu'une évaluation préalable des impacts sur l'environnement. On peut faire également une évaluation initiale de l'environnement avant même d'entreprendre le processus formel de l'EIE.

Le tri-préliminaire (screening, tamisage, criblage) est une phase d'analyse initiale qui permet d'évaluer l'ampleur de l'EIE requise et de déterminer si elle doit être détaillée. Il consiste à comparer le projet à des listes prédéfinies de projets qui indiquent les exigences de l'évaluation. En règle général, on réserve l'EIE détaillée aux projets les plus susceptible d'avoir un une incidence majeure sur l'environnement biophysique ou humaine. Si on ne dispose pas des données suffisantes pour prendre une décision, on peut exiger la tenue d'une évaluation préalable (évaluation environnementale préliminaire, examen environnemental initial). Au terme de cette phase l'organisation responsable des EIE décidera s'il est nécessaire d'entreprendre une EIE détaillée et, le cas échéant, déterminera son envergure.

Le cadrage (scoping, balayage ou cadrage préalable) est la phase du processus pendant laquelle l'autorité compétente et le maître d'ouvrage, une fois qu'ils ont établi la nécessité d'une étude d'impact, identifient les principaux problèmes environnementaux soulevés par le projet et déterminent le calendrier et les champs des analyses à effectuer, les sources des connaissances spécialisées à utiliser et les mesures d'atténuation, d'amplification ou de compensation à envisager (OCDE, 1992a : 14). Cette phase comprend également la définition du périmètre d'étude et des échelles d'analyses. Cette activité peut être menée par l'autorité compétente, par le promoteur lui-même ou par un bureau d'étude engagé à cette fin. Dans ces derniers cas le document devra être soumis selon les juridictions à l'autorité compétente pour

discussion et approbation. Le public est parfois impliqué à cette étape. Du cadrage émergent des directives (directive, terms of reference, termes de référence) de l'EIE, qui indiquent au maître d'ouvrage le contenu minimal de l'étude d'impact qu'il doit produire.

La réalisation de l'étude d'impact (impact assesement), dont le maître d'ouvrage est responsable, se fonde sur les directives, qui en constituent en quelque sorte la recette et une première esquisse de la table des matières. Ils reviens à des experts de différents domaines de déterminer les conditions de base de l'environnement biophysique et humain, d'évaluer la grandeur, l'importance et la signification des impacts du projet sur les composâtes de l'environnement préalablement définies, de proposer les mesures requises pour les éviter, ou pour les atténuer dans le cas d'impacts négatifs, ou les maximiser, dans le cas d'impacts positifs, ou pour compenser les impacts résiduels. L'étude peut être réalisée par le maître d'ouvrage ou sous-traitée entièrement ou en partie à un bureau d'étude. Certains thématiques peuvent nécessiter le concours de collaborateurs d'universités ou d'autres institutions

Au-delà de la description et de l'analyse socio-économique traditionnelle et afin de décrire au mieux la composante humaine de l'EIE et de favoriser, une meilleure adéquation de l'étude avec le milieu, la participation du public s'avère essentielle. Ces rapports entre le maître d'ouvrage et le public, voire avec les autorités, permettent un apprentissage réciproque des valeurs (souvent antagonistes ou conflictuelles), préoccupations, objectifs et agendas de chacun. Ils favorisent le développement d'un contexte d'échange et de négociation qui peut même aboutir à un débat sur la justification du projet, à l'identification de nouvelles options ou à un projet améliorer. Ce processus d'échange est aussi important que **le rapport d'étude d'impact** (environmental impact statement ou report) qui découle de cette phase. Une fois le rapport terminé, le maître d'ouvrage le remet à l'autorité compétente pour l'analyse.

Le rapport fait alors l'objet d'un examen (review). Cette phase a pour objectifs principaux de vérifier que le rapport se conforme aux directives et que l'information qu'il contient suffit pour permettre une prise de décision (UNEP, 2002 :35). Plus spécifiquement, elle vise :

- évaluer la justesse et la qualité du rapport d'EIE, notamment quant à la caractérisation du milieu, aux modèles utilisés pour prédire la situation future, aux méthodes d'évaluation des impacts, au plan de gestion environnemental et social (PGES) et à l'implication du public ;
- évaluer la faisabilité, la pertinence et la complétude du PGES ;

- prendre en compte les commentaires du public au terme de l'évaluation ;
- déterminer si l'information est suffisante pour qu'une décision éclairée soit prise ;
- identifier au besoin les déficiences que le rapport doit combler préalablement à la décision ;
- proposer à l'autorité décisionnelle des mesures particulières à ajouter à une éventuelle autorisation.

Dans la pratique, deux modèles existent. En effet, l'examen peut être conduit au sein même de l'unité administrative compétente en EIE du décideur, avec ou sans la participation des fonctionnaires, lesquels peuvent provenir, par exemple, appartenir au même ministère ou provenir d'autre ministère. On parle alors d'un examen interne. Mais l'examen peut aussi être conduit par des ressources extérieures à l'unité compétente en EIE du décideur, voire à l'extérieur du cercle des fonctionnaires. L'unité compétente ne conserve alors que la gestion de l'examen. Dans ce cas, on parle d'un examen externe. Ces deux modèles peuvent coexister dans une même phase d'examen, auquel cas ces deux situations sont observées : soit les fonctionnaires, les experts et le public sont regroupés au sein d'un même comité technique d'examen, soit de comités indépendants sont mis sur pied.

Après ces quatre phases, l'autorité compétente est en mesure d'élaborer et de prendre une **décision** (decision-marking, decision-taking) éclairée sur le projet tenant compte de l'environnement. Cette décision repose sur l'état d'impact ainsi que, le cas échéant, sur les rapports d'examen préalablement exigés. La décision consistera en une autorisation de procéder sans modification au projet, en une autorisation de procéder avec modification, en une suspension de l'autorisation dans l'attente des renseignements complémentaires ou encore en un rejet du projet.

Il est essentiel d'assurer la **surveillance** des travaux en cours de construction ainsi que le **suivi** (environmental monitoring, environmental follow-up) des effets anticipés du projet sur l'environnement aux fins d'une bonne gestion environnementale. Cette phase du processus revient généralement au maître d'ouvrage qui doit rendre compte des résultats à l'autorité compétente, bien que cette dernière effectue aussi des vérifications sur le terrain. Le processus d'EIE a encore un caractère expérimental et des ajustements s'y font continuellement ; l'amélioration du processus, des techniques et des méthodologies utilisées passe par la mise en place et l'application de la surveillance et du suivi, qui mineront à la production du

rapport de surveillance et du **rapport de suivi environnemental**. L'autorité gouvernementale s'assure de l'application des exigences spécifiées au décret ou à toute autre forme d'autorisation.

Tableau 9. Processus général des études d'impact sur l'environnement (Tiré de Delisle et al., 2010)

Intrants	Phases	Produits
Avis ou description de projet, parfois ou évaluation préalable	Tri préliminaire	Décision sur la nécessité d'une EIE et sur le degré d'approfondissement
Avis ou description de projet et évaluation préalable	Cadrage	Directives ou termes de référence
Directives	Réalisation de l'étude	Rapport d'Étude d'impact
Rapport d'étude d'impact	Réalisation de l'étude	Rapport d'examen technique ou public
Réunions des rapports précédents	Décision	Avis d'autorisation
Avis d'autorisation	Surveillance et suivi	Rapport de surveillance et de suivi

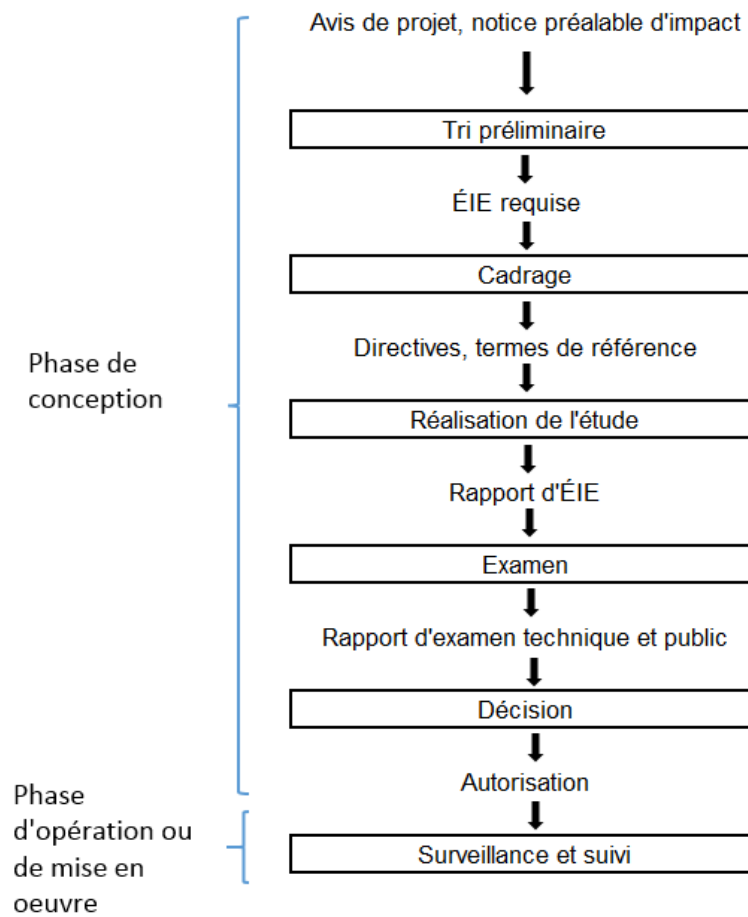


Figure 6. Le processus type d'ÉIE et son adéquation avec les phase de développement d'un projet

III.3.2 Cas de la République Démocratique du Congo

En République Démocratique du Congo, l'octroi des droits miniers ou de carrières et de la délivrance des droits miniers et de carrière est soumis à la réalisation par le demandeur d'une Étude d'Impact Environnemental et social (EIES) et à la présentation du plan de Gestion Environnemental et Social (PGES) (Article 42 : De l'instruction environnementale et sociale (modifié et complété par l'article 2 de la Loi n° 18/001 du 09 mars 2018 modifiant et complétant la Loi n° 007/2002 du 11 juillet 2002 portant Code minier).

L'Agence Congolaise de l'Environnement, le Fonds national de promotion et de service social, en collaboration avec la Direction chargée de la protection de l'environnement minier et, le cas échéant, tout autre organisme de l'Etat concerné, sont chargés d'instruire l'EIES et le PGES relatifs à la demande de droit minier d'exploitation ou de l'autorisation d'exploitation de carrière permanente, le plan d'Atténuation et de Réhabilitation (PAR) relatif

à une demande d'autorisation d'exploitation de carrière temporaire, le dossier de la demande de transfert du droit minier ou de l'autorisation d'exploitation de carrières permanente, ainsi que le plan pour la contribution du projet au développement des communautés environnantes. Le certificat environnemental est délivré par l'Agence Congolaise de l'Environnement à l'issue de l'instruction environnementale et sociale attestant que l'exécution du projet ainsi que l'exploitation de l'ouvrage se conforment aux principes de sauvegarde environnementale et sociale.

En outre, toute personne qui, pour les besoins d'une activité minière, est contrainte de déboiser une portion de forêt, est tenue au préalable d'obtenir à cet effet un permis de déboisement auprès de l'administration compétente.

Quelques définitions² :

EIES, Étude d'Impact Environnemental et Social : processus systématique d'identification, de prévision, d'évaluation et de réduction des effets physiques, écologiques, esthétiques et sociaux préalable au projet d'aménagement, d'ouvrage, d'équipement, d'installation ou d'implantation d'une exploitation minière ou de carrière permanente, ou d'une entité de traitement, et permettant d'en apprécier les conséquences directes ou indirectes sur l'environnement

PGES, Plan de Gestion Environnementale et Sociale : cahier des charges environnementales du projet minier consistant en un programme de mise en œuvre et de suivi des mesures envisagées par l'EIES pour supprimer, réduire et éventuellement compenser les conséquences dommageables du projet minier sur l'environnement ;

plan d'Atténuation et de Réhabilitation, PAR en sigle, : le plan requis pour les opérations en vertu d'un droit minier ou de carrières de recherches, ou d'une Autorisation d'Exploitation de Carrière Temporaire, consistant en l'engagement du titulaire de réaliser certaines mesures d'atténuation des impacts de son activité sur l'environnement ainsi que des mesures de réhabilitation du lieu de leur implantation, y compris l'engagement du titulaire, de fournir ou de constituer une sûreté financière pour assurer ou garantir le coût d'atténuation et de réhabilitation de l'environnemental.

² Tirées de la Loi n° 18/001 du 09 mars 2018 modifiant et complétant la Loi n° 007/2002 du 11 juillet 2002 portant Code minier

Exemple des plan respectivement de EIES et du PAR du projet d'exploitation de cuivre et de cobalt de Tenke-Fungurume en RDC. Réalisé en 2007 par la Banque Africaine de Développement.

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION.....	3
2.	DESCRIPTION DU PROJET.....	4
3.	CADRE JURIDIQUE ET STRATÉGIQUE	7
4.	ANALYSE DES DIFFÉRENTES OPTIONS	7
5.	CADRE ENVIRONNEMENTAL DE LA ZONE DE PROJET	9
6.	PRINCIPAUX IMPACTS ET MESURES D'ATTÉNUATION	13
7.	IMPACT SOCIOÉCONOMIQUE ET MESURES D'ATTÉNUATION	25
8.	ÉVALUATION DES EFFETS CUMULATIFS	29
9.	CONSULTATIONS PUBLIQUES	31
10.	MESURES D'AMÉLIORATION DES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES ET SOCIALES	32
11.	PLANS DE GESTION ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE (PGES)	33

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION.....	4
2.	CADRE JURIDIQUE, RÉGLEMENTAIRE ET INSTITUTIONNEL	4
3.	CADRE DE RÉINSTALLATION.....	5
4.	STRATÉGIE DE RÉINSTALLATION ET D'INDEMNISATION	7
5.	SUIVI ET AUDIT À L'ACHÈVEMENT	32
6.	CONSULTATIONS ET PUBLICATION DE L'INFORMATION	36
7.	MISE EN ŒUVRE DU PAR	38
8.	PERSONNES DE CONTACT	45

CHAPITRE IV. DÉVELOPPEMENT DURABLE

IV.1 Définition, principe et mise en contexte

Le concept de développement durable (*sustainable development*) a fait son apparition dans les années 1980, en réaction aux séquelles bien visible sur la nature et l'être humain d'un développement irrespectueux des limites des ressources naturelles et de la capacité du support du milieu mais, aussi en réaction aux échecs des modèles traditionnels à se traduire en développement social. La commission mondiale sur l'environnement et le développement durable (CMED), promoteur du concept à l'échelle internationale, le définit comme un développement qui répond aux besoins des générations actuelles, sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs (CMED, 1988)³. Cette commission a propulsé le concept développement durable dans toutes les sphères notamment le gouvernement des pays industrialisés en transition et en développement, partis politiques, banques, grandes entreprise, syndicats, ONG, l'ont accaparé et redéfini en fonction de leurs propres préoccupations. Pour la CMED, la réalisation d'un développement durable passait par des profondes transformations sociales. Elle exigeait la satisfaction des besoins essentiels pour tous, l'utilisation rationnelle et durable des ressources naturelles les maintiens et la sauvegarde des éco- systèmes et des processus qui régissent la vie, la coopération des peuples et la solidarité entre la génération actuelle et future.

Dans ce chapitre, nous retracerons tout d'abord l'histoire et le développement du concept du développement durable. Ensuite, nous illustrerons ses diverses représentations et appropriations, et nous apprécierons ce qu'il a entraîné comme innovation dans différents domaines. Enfin, nous exposerons l'historique et la progression de l'évaluation environnementale en lien avec le développement durable.

IV.2 Perspective historique

On peut affirmer que l'histoire de développement durable a un lien étroit avec le mouvement de protection de l'environnement de la seconde moitié du 20^{ième} siècle. Nous n'entendons pas qu'il n'y pas eu des préoccupations environnementales au cours des décennies précédentes. Il

³ Le rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développements, Notre avenir à tous est disponible en ligne sur le site fr.wikisource.org.

s'agit plutôt de constater que l'effort international de réconciliation entre la société, le développement et l'environnement remonte environ 50 ans. Le point de départ de l'action environnementale à l'échelle mondiale est très certainement la Conférence de Nations Unies sur l'environnement humain de Stockholm tenue en 1972 avec la participation de 113 pays. Cette première réunion mondiale pour l'homme et son milieu a atteint l'objectif d'inscrire l'environnement à l'ordre du jour. La conférence propose un plan de lutte contre les pollutions et prend position pour une protection vigilante des ressources naturelles ; Elle propose également un plan d'action contre le sous-développement. Les signataires de la Déclaration issue de cette conférence insistent sur l'importance de prendre en compte les questions environnementales dans la planification et d'ouvrir de façon à protéger et à améliorer la qualité de l'environnement. Il s'agit d'une nouvelle stratégie fondée sur une utilisation judicieuse des ressources humaines et naturelles à l'échelle locale et régionale, stratégie qui donnera naissance au concept d'écodéveloppement qui se définit comme « des styles de développement écologiquement convenable ».

L'Assemblée générale des Nations Unies adopta par résolution (Résolution 37/7 du 28 oct 1982) la Charte Mondiale de la Nature. Le Principe 11 de cette Charte stipule entre autre que: les activités pouvant avoir un impact sur la nature seront contrôlées et les meilleures techniques disponibles, susceptibles de diminuer l'importance des risques ou d'autres effets nuisibles sur la nature, seront employées en particulier: a) les activités qui risquent de causer les dommages irréversibles à la nature seront évitées ; b) les activités comportant un degré élevé de risque pour la nature seront précédées d'un examen approfondi et leurs promoteurs devront prouver que les bénéfices escomptés l'emportent sous les dommages éventuels pour la nature et, lorsque les effets nuisibles éventuels de ses activités ne sont qu'imparfaitement connus, ces dernières ne devraient pas être entreprises ; c) les activités pouvant perturber la nature seront précédées d'une évaluation de leurs conséquences et des études concernant l'impact sur la nature des projets de développement seront menées suffisamment à l'avance ; au cas où elles seraient entreprises, elles devront être planifiées et exécutées de façon à réduire au maximum les effets nuisibles qui pourraient en résulter.

Lors de la rencontre de Nairobi en 1982⁴ soit 10 ans après la conférence de Stockholm les pressions du pays du sud ont amené les Nations Unies à créer, par la résolution 38/161 de 1983, la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (CMED). Cette commission a reçu le mandat de proposer en termes claires les stratégies pour apporter une

⁴ Voir la Déclaration sur le site du PNUD, www.unep.org

solution durable à la gestion de savoir comment satisfaire les besoins et les aspirations de l'humanité actuelle sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. Le rapport, publié en 1987 (CMED, 1988), dresse la liste des problèmes environnementaux les plus importants qui menacent et entravent le développement des nombreux pays du Sud ; il souligne la nécessité de diminuer la consommation des ressources, surtout énergétiques dans les pays industrialisés. La commission préconise l'adoption immédiate des mesures politiques décisives pour gérer les ressources de manière à assurer un progrès durable et à garantir la survie de l'humanité. Elle définit alors **le concept de développement durable**. Ce concept, qui exclut les positions radicales tant écologiques qu'économistes, a reçu un excellent accueil à l'échelle mondiale ; il propose en fait un compromis acceptable pour tous, bien que sa mise en application s'avère extrêmement difficile et qu'elle requière des changements radicaux de mentalité et de comportement. La protection de l'environnement devient alors une priorité internationale qui exige une vaste redistribution des ressources financières, scientifiques et techniques à l'échelle planétaire et la mise en œuvre d'un certain nombre d'impératifs stratégiques pour un développement durable.

Afin de concrétiser les engagements internationaux envers le développement durable, le Sommet de la Terre tenu à Rio en 1992, a réuni 150 chefs d'État. L'objectif principal du sommet consiste à faire entrer l'environnement au cœur du processus des décisions. La Déclaration à Rio a établi 20 principes généraux, et 3 conventions en ont découlées. La première est la Convention cadre des États Unis sur le changement climatique, dont la mise en œuvre prend forme avec le protocole de Kyoto, signé en 1997. Ce dernier fixe des engagements de réduction des émissions des gaz à effet de serre pour les pays industrialisés. La deuxième, la Convention sur la diversité biologique vise à protéger l'ensemble de la diversité du vivant (au regard des gènes des espèces et des écosystèmes). Elle a donné lieu à la signature du protocole de Carthagène sur la biosécurité. Le Sommet de Rio a aussi donné naissance à l'Agenda 21, un vaste programme d'action fixant les objectifs et décrivant des moyens et des politiques volontaires à mettre en place dans tous les domaines de la société pour atteindre un développement durable⁵. Le Forum Rio+5, en 1997, a porté un regard sur l'évolution de la situation depuis Rio et a relancé les actions promouvant la concrétisation du développement durable. Il y a eu peu de résultats concrets et il a reçu peu d'attention. Il faut attendre Rio+10, mieux connu comme le Sommet de Johannesburg (septembre 2002) ou Sommet mondial sur

⁵ On peut trouver le texte de l'Agenda 21 à www.agora21.org.

le développement durable (SMDD⁶), pour procéder à un bilan des engagements pris à Rio. L'objectif du sommet était d'évaluer les réalisations s'inscrivant dans le cadre d'Agenda 21 et les autres textes issus du sommet de Rio ainsi que de recenser les domaines où il faut faire des efforts supplémentaires afin de réaliser leur mise en œuvre.

A cette occasion, les participants ont adopté une déclaration politique et annoncé des nombreux partenariats. De plus, en réactions à Rio, où on avait insisté sur la dimension environnementale, Johannesburg avait pour défi de remettre à l'ordre du jour les 3 piliers du développement durable en omettant aucune de ses dimensions économiques, sociales et environnementales. Il conviendrait d'envisager le contenu et la dynamique du Sommet de Johannesburg non seulement dans le contexte du Sommet de la Terre de Rio, mais aussi dans celui des enjeux et des résultats des réunions récentes qui ont défini le cadre de ce qui était possible à Johannesburg telle que la Déclaration du millénaire de l'ONU (2000)⁷. Il s'agissait d'un ensemble de huit objectifs précis à atteindre en 2015, portant sur la réduction de la pauvreté, de la santé, de l'éducation, de l'égalité entre les genres, la viabilité de l'environnement et les partenariats. Le Plan de mise en œuvre comportait 10 chapitres qui portent, notamment, sur la réduction de la pauvreté, les modes de production et de consommation non viables, la protection et la gestion des ressources naturelles, la mondialisation, la santé, l'Afrique et la gouvernance.

IV.3 Développement durable et autres formes de développement.

Le concept de développement durable est désormais incontournable. Il sert de toile de fond à l'analyse des questions environnementales, aux discours de plusieurs agences d'aide, aux banques multilatérales et aux entreprises qui revendiquent un comportement socialement responsable. Avant d'en avoir les applications concrètes du développement durable dans différents champs disciplinaires et professionnels, il convient d'explorer plus avant sa dimension théorique, notamment celle du développement, qui ne fait lui-même pas l'objet d'une définition univoque. En suivant certains auteurs notamment Comélieau 1999, nous définissons le développement à la fois comme:

- 1) le changement social qui permet un progrès collectif et se situe dans la prolongation du dynamisme de la révolution industrielle née en Europe occidentale à la fin du 18^{ième} siècle ;
- 2) L'espoir de progrès matériels et social que cette révolution a engendré pour la plus part des nations.

⁶ Pour en savoir plus sur le Sommet de Johannesburg, voir www.sommetjohannesburg.org

⁷ Pour lire le texte de la Déclaration, voir www.un.org/french/millenniumgoals/

Le développement, comme croyance occidentale, prend véritablement forme est contenu opératoire avec un discours donné en janvier en 1949 par le président américain Truman. A cette occasion, Truman lança l'idée d'un programme qui fasse partager les acquis scientifiques et industriels de son pays avec les régions sous-développées⁸. Ainsi est née l'aide au développement, qui allait prendre des multiples formes au cours des décennies.

Des agences nationales, des organisations internationales, comme la BIRD (Banque internationale pour la reconstruction et le développement) du groupe Banque mondiale, et des banques régionales de développement ont été mises sur pieds pour produire ce développement nécessaire, et ce, dans une perspective s'intégration à l'économie mondiale.

La lecture du rapport de la CMED et des multiples écrits qui ont parus depuis plus de 20 ans permet de définir 3 fenêtres par lesquelles observer la démarche de la société vers un développement durable : **la fenêtre économique, écologique, sociopolitique**. La fenêtre écologique concerne essentiellement la Nature avec ses composantes physiques, chimiques, et biologiques, d'une part, et les systèmes complexes d'interaction qui en émergent (écosystèmes, grands cycles biochimiques, dont celui du carbone, etc.), d'autre part. La fenêtre économique réfère aux façons de gérer les ressources naturelles et humaines pour atteindre les objectifs sociaux, alors valorisés, dont la satisfaction des besoins jugés fondamentaux. Enfin, la fenêtre sociopolitique tient compte des rapports sociaux entre groupes des diverses natures, de mode de gouvernance et des relations internationales.

Chacune de ces fenêtres peut constituer pôle d'un diagramme tertiaire qui permet de situer les acteurs en fonction de leur façon de voir le développement (figure 6).

Ainsi, on a, au sommet, des radicaux, ce groupe qui, en adoptant une position extrême, vise une écologie profonde, une économie fondée sur une accroissance maximale sans contrainte, une sociopolitique où l'être humain accapare tous les droits, même au prix de non-respect des droits humains.

Entre ces positions radicales apparaît un ensemble des stratégies des développements. Tout d'abord le modèle de développement près industriel se fonde sur une exploitation de la nature où la satisfaction des communautés qui en dépendent pour leur survie physique, mentale et culturelle. Les sociétés traditionnelles des cueilleurs chasseurs en font partie.

⁸ L'intégralité du discours du président Truman est disponible sur le site www.quest.net/history/inaugurals/truman/index.htm.

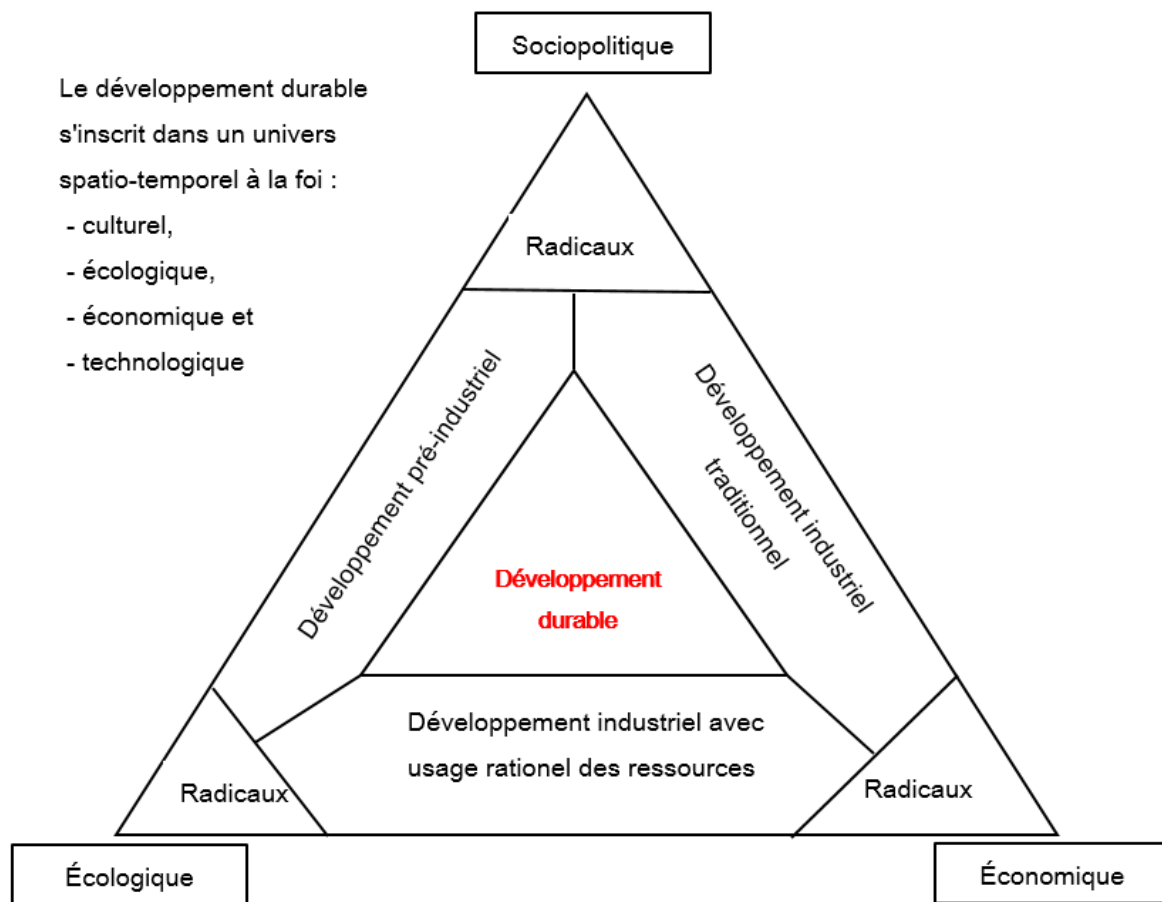


Figure 7 : Le développement durable et les autres formes du développement (Tiré et modifié de Delisle et al., 2010)

Ensuite, le modèle de développement industriel traditionnel repose sur l'exploitation industrielle des ressources naturelles (agriculture, pêche, industrie forestière et industrie minière), sans égard à la capacité de la nature de produire les ressources et de disposer les déchets ; selon ce modèle, on fait autant de prélèvement qu'il y a d'unités de production disponible. Il contribue à la croissance de la population, à l'épuisement des ressources, à la surconsommation, à la pollution et à la destruction d'habitats. Enfin, le développement industriel avec usage rationnel des ressources tend à satisfaire les exigences de protection de la diversité biologique et le respect de cycle biogéochimiques. Ils fondent les stratégies de prélèvement sur une bonne connaissance de l'État et du développement des ressources convoitées, se concentrant essentiellement sur l'exploitation, chaque année, de la production annuelle nette et misant sur la restauration des milieux exploités ou dégradés. Ils se préoccupent donc de mettre en pratique une gestion intégrée des ressources (GIR).

Le développement durable, quant à lui, trouve sa place au centre du diagramme. Il consiste à un développement à la fois soucieux de considération écologiques, économique et socio-politiques.

La dimension environnementale est une condition de développement, la dimension économique en est le moteur, le moyen, et le développement social s'avère la finalité. Par ailleurs, il ne peut y avoir un seul modèle de développement durable. Chaque modèle se situe dans un espace-temps spécifique, caractérisé par la culture sociale et politique, le système écologique en présence, le degré de développement économique et l'accessibilité à la technologie. De ce fait, la façon d'analyser la situation de développement et d'appliquer le développement durable évoluera avec les innovations et les changements sociaux. Il peut s'appliquer à diverses échelles sociales depuis la famille et l'industrie, jusqu'à l'État et la région, le pays, voir la communauté mondiale si on se réfère aux grands principes communs à tous.

Ainsi, le développement durable est une façon de voir le monde d'aujourd'hui et celui en devenir. Il requiert la modification de nos rapports :

- avec la nature, c'est-à-dire qu'on passe de dépendant ou dominateur à coopérant ou collaborateur ;
- avec la société, c'est-à-dire qu'on passe du rapports de domination et de puissance, à des rapports de coopération, de justice, de démocratie, de paix et d'équité ;
- avec l'économie, c'est-à-dire qu'on passe d'un système productiviste à courte vue, maximisant les profits immédiats, à un système de satisfaction à long terme des besoins essentiels et du bien-être de tous les citoyens.

IV.4 Principe de développement durable

De la quête du développement durable, les états adhèrent à un certain nombre de principe qui vise à rendre le développement durable plus concret. L'exemple de la France et celui du Québec illustrent bien ses engagements. La charte de l'environnement adoptée par la république française en 2005 constitue l'assise de la stratégie nationale du développement durable. Pour sa part, le gouvernement du Québec, dans sa loi sur le développement durable, nomme et définit 16 principes permettant de mieux intégrer la recherche d'un développement durable dans ses sphères d'interventions **notamment les principes de Pollueur-payeur, de précaution, de subsidiarité, de protection de l'environnement et de production et de consommation responsable.**

1. **Principe de pollueur-payeur (P.P.P)** est un principe économique selon lequel le pollueur prend à sa charge les dépenses afférentes à la mise en œuvre des mesures de prévention de la pollution ou aux dommages provoqués par la pollution. En d'autres termes, ce principe signifie que le pollueur devrait se voir imputer les dépenses relatives aux susdites mesures arrêtées par les pouvoirs publics pour que l'environnement soit dans un état acceptable.
2. **Principe de précaution** fournit un cadre d'aide à la décision en situation d'incertitude. Lorsque la réalisation d'une activité ou d'un projet comporte des risques graves ou irréversibles pour l'environnement naturel ou humain (dont la santé), l'absence de certitude scientifique absolue quant aux effets de cette réalisation ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption des mesures de prévention.
3. **Principe de subsidiarité**, en vertu de ce principe, il y a octroi d'un certain degré d'indépendance à une autorité subordonnée vis-à-vis d'une autorité de niveau supérieur, notamment d'une autorité locale envers le pouvoir central. Ainsi, lorsque plusieurs échelons peuvent prendre en charge les décisions et leur application, l'échelon le plus bas est choisi par souci d'efficacité et de démocratie. Efficacité, car plus le lieu de décision et de gestion est éloigné du lieu d'application, plus « l'action a de chances d'être inadaptée, mal appliquée et de donner lieu à des fraudes ».

IV.5 Appropriation du concept par le champ de compétence.

Certaines professions et certaines organisations revendiquent de façon plus pragmatique contribuer à la mise en œuvre du développement durable. En fait plusieurs professions se sentent investies du devoir d'intégrer le développement durable dans leurs pratiques. L'ingénieur vise la conception des projets plus respectueux de l'environnement en minimisant les rejets des polluants: application de la réduction, récupération et le recyclage (les 3R) dans la pratique de gestion des entreprises, valorisation énergétique de sous-produits de production, restauration des sites contaminés dégradés etc...

Changement de pratique

La reconnaissance progressive du concept de développement durable a contribué à l'adoption de certains changements dans la pratique tendus des décideurs et des industriels que des

politiciens et des consommateurs. Nous explorons ici certains aspects de ses changements. Ainsi, nous discuterons de l'influence de l'adoption du développement durable sur :

- **Les stratégies de financement et l'aide internationale**, la mise en place du concept de DD amené une nouvelle étape administrative ; on tient compte des répercussions sur l'environnement naturel et humain d'un projet avant d'en approuver le financement.

- **La planification territoriale** (aménagement et équipement), le concept de DD durable a modifier considérablement les façons de planifier le territoire. On a pu constater un effort accru pour une planification territoriale qui intègre les diverses dimensions du DD, notamment en regard de la croissance de la mobilité et de la demande en infrastructures de transport, de l'étalement urbain et de la gestion des ressources (y compris les matières résiduelles) .

- **Les technologie et transformation du secteur de la production**, l'entreprise industrielle a grandement évolué en regard de sa performance environnementale au cours des dernières années. On peut reconnaître trois phases majeures de développement : la phase du tout à l'égout, la phase de prévention de la pollution par le traitement à la sortie de l'usine et la phase d'optimisation des procédés (figure 7).

Au départ, la pratique courante consistait à utiliser les matières premières (ressources, eau, air et énergie) pour fabriquer un produit ensuite écoule sur le marché sans préoccupations environnementales. Tout ce qui accompagnait cette production constituait un déchet dont il convient de disposer, qu'il s'agisse des résidus de matière première, d'eau polluée, de gaz, de poussières ou de chaleur. L'incidence de ces pratiques s'est vite fait sentir : accumulation d'ordures, cours industriels contaminés, problèmes de santé des travailleurs et des citoyens vivant à proximité des usines, dégradation des milieux naturels et de l'habitat humain.

Face au constat de dégradation environnementale et de problèmes exacerbés de santé, plusieurs pays ont adopté une loi de protection de l'environnement dont l'objectif premier était la réduction et la prévention de la pollution. De telles lois ont entraîné le développement des systèmes d'épuration et la mise en place de programme de recyclage. Les unités de traitement avaient pour objectif de ramener le niveau de pollution de l'eau et de l'air sous les normes nationale imposées par la loi. Au fil de temps, avec le resserrement des normes, on a perfectionné ces unités de traitement. A l'heure actuelle, la technologie disponible rend possible l'extraction de la quasi-totalité des polluants ; cependant trois facteurs expliquent pourquoi on applique toujours pas ces technologies : certains sont encore au stade expérimental et requièrent quelques ajustements avant leur utilisation industrielle ; plus le

traitement est efficace, plus le couts sont élevés ; il n y a pas de gains à extraire les polluants bien en-deca des normes.

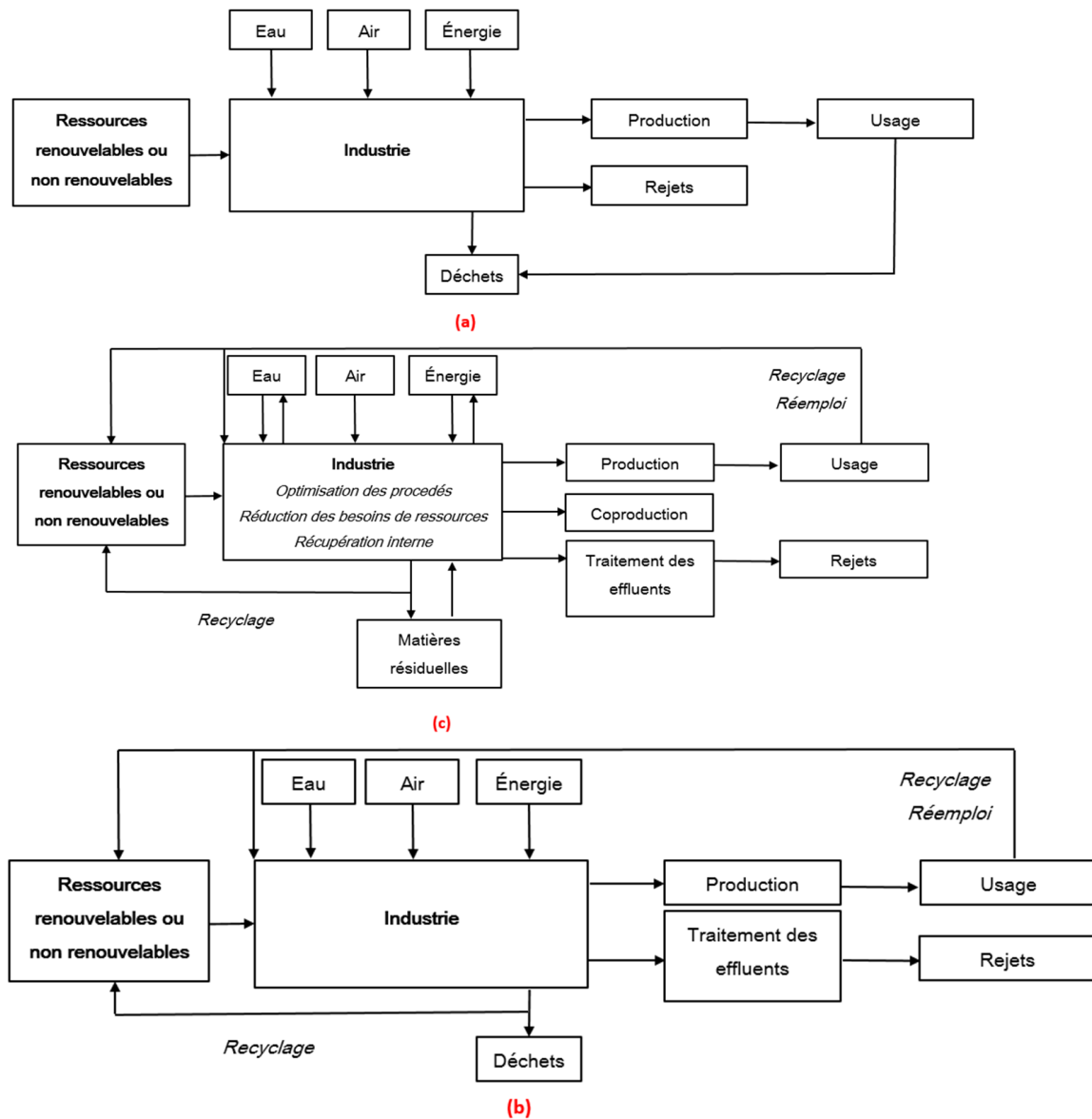


Figure 8 : Transformation des systèmes de production : (a) tout-à-l'égout, (b) traitement des effluents et recyclage ; (c) optimisation des procédés (Tiré de Delisle et al., 2010)

Au cours des dernières années, on assiste à une gestion beaucoup plus intégrée de l'environnement par les entreprises industrielles. Ces dernières s'engagent par exemple à satisfaire les normes élaborées par l'International Standard Organisation I(ISO 14000).

- **La gouvernance et prise de décision,** l'émergence du paradigme de DD est à l'origine d'un profond bouleversement des modes de gouvernance et de prise de décision à de multiples échelles : locale, nationale, internationale ou mondiale. Dans les dix dernières

années, on a vu les gouvernements se doter de ministères, de sous-ministres, de secrétariat d'Etat et d'autres structures responsable de la promotion du DD. La plus part des pays ont aujourd'hui leur ministère de l'Environnement, et toutes sortes de nouveaux services publics chargés de promouvoir le DD (ex. ministère de l'Environnement et Développement Durable et vice-ministre de l'environnement en RDC).

IV.6 L'ingénieur et le développement durable.

Cette section explique en quoi le concept de développement durable touche au travail de l'ingénieur. Commençons par rappeler que le concept de développement durable repose sur les trois piliers d'un projet de développement : le pilier économique; le pilier environnemental et le pilier social. Ces piliers doivent être en équilibre les uns par rapport aux autres pour qu'un projet soit durable. Autrement dit, une importance égale doit être apportée à chacun pour que le projet puisse produire un effet positif global à long terme.



Figure 9. Approche globale du développement durable (tiré de Dassargues, 2010)⁹

IV.6.1 Premier pilier – l'aspect économique

Il est naturel pour l'ingénieur, même si sa formation universitaire ne l'y prépare pas, de se soucier de l'aspect économique d'un projet. En effet, un projet ne répondant pas à certains critères de rentabilité ne pourra pas être accepté par son client ou encore être financé, que ce

⁹ Centre d'initiatives pour le développement durable (CIDD) (s.d). Qu'est-ce que le développement durable ? In Wordpress. <http://ciddbf.wordpress.com/developpement-durable/>

soit par les institutions financières ou par l'entreprise pour laquelle il travaille. Cette préoccupation fait même partie de la formation de l'ingénieur et demeure prioritaire à son esprit.

IV.6.2 Deuxième pilier – la gestion de l'environnement

La préoccupation environnementale d'un projet entre de plus en plus dans les habitudes des ingénieurs. Plusieurs sociétés font maintenant preuve d'une sensibilité beaucoup plus grande relativement aux effets néfastes que peuvent avoir le rejet de contaminants dans l'environnement ou le gaspillage de l'énergie, pour ne citer que ces quelques exemples. Les normes gouvernementales de protection de l'environnement se sont resserrées au fil des ans, ce qui a forcé les ingénieurs à modifier leur pratique. Plusieurs règlements fédéraux, provinciaux et municipaux déterminent les quantités de polluants qu'il est acceptable ou permis d'émettre dans l'environnement ainsi que le processus pour obtenir une autorisation de le faire. Bien qu'elle soit simple en principe, cette obligation peut s'avérer plutôt complexe dans certains cas, notamment si les vérifications préalables ne sont pas faites adéquatement ou si le projet n'est pas correctement évalué. De plus, chaque situation devrait être analysée afin de déterminer si une simple application des normes environnementales est suffisante pour assurer la protection de l'environnement et la santé des personnes.

La gestion de l'environnement couvre l'ensemble d'un projet, de la phase de conception jusqu'à sa mise hors service, en passant par sa construction et son exploitation. Chacune de ces phases est soumise à différentes réglementations environnementales, lesquelles peuvent se recouper d'une phase à l'autre.

IV.6.3 Troisième pilier – la préoccupation à l'égard des communautés et des parties prenantes

Le troisième pilier du développement durable couvre l'aspect social. Cet aspect, bien qu'il soit tout aussi important que les aspects économique et environnemental, n'est pas aussi facile à évaluer et est plutôt mal compris. L'ingénieur, dans sa pratique, s'appuie fortement sur des normes, des codes et autres règles de l'art pour s'assurer de la performance et de la sécurité des projets sous sa responsabilité. Il n'est donc pas naturel, ou « inné », pour l'ingénieur d'évaluer objectivement les répercussions sociales que peut avoir un projet, ce qui peut par ailleurs se traduire de nombreuses façons : incompatibilité d'usage entre un quartier résidentiel et une industrie, ergonomie d'un appareil pour l'utilisateur, conséquences de travaux de voirie sur la circulation, etc. De plus en plus, l'obligation évidente d'assurer la viabilité financière d'un projet et une performance environnementale exemplaire, allant

souvent au-delà des normes gouvernementales, ainsi que les démarches requises pour assurer l'acceptabilité sociale des projets font en sorte que le développement peut se faire de façon durable, ce qui assure par le fait même une croissance économique à long terme.

L'aspect social consiste à prendre en compte les préoccupations des « parties prenantes » (*stakeholders* en anglais). Ces parties prenantes sont aussi nombreuses que variées :

- employés (cadres, syndiqués);
- voisins (immédiats ou non);
- fournisseurs;
- clients;
- groupes socioéconomiques (p. ex. chambres de commerce);
- groupes environnementaux ou communautaires (p. ex. écoles, ONG-E);
- représentants gouvernementaux élus (p. ex. maires, députés);
- fonctionnaires;
- etc.

Nous considérons comme partie prenante toute personne ou tout groupe avec lesquels une organisation a des liens dans le cadre de ses activités. Ces liens peuvent être directs ou indirects, mais aussi ne pas être connus de l'organisation.

En conclusion, le génie est directement concerné par les questions environnementales. Qu'il s'agisse d'appliquer les lois et règlements en vigueur ou les principes du développement durable, les ingénieurs ont aujourd'hui l'obligation de se préoccuper de l'environnement dans leur pratique quotidienne. Les rôles des ingénieurs doivent être pragmatiques¹⁰ !

- **Prévention/protection** : qui évite/diminue autant que possible les impacts de nos activités humaines en perpétuel développement
- **Quantification de l'impact** : demandant de quantifier, de modéliser, dans des domaines parfois influencés par des systèmes naturels plus complexes, associant des aspects économique, social et environnemental
- **Développement des moyens d'action** : pour éviter, remédier ou amoindrir. Il s'agit d'utiliser les technologies les plus avancées pour améliorer la situation, palier aux conséquences néfastes.

¹⁰ Dassargues, 2010

L'ingénieur ne doit pas se limiter aux contraintes physiques, techniques et économiques. Il doit aussi élargir sa vision et tenir compte des contraintes environnementales, humaines, sociales, légales ou de tout autre élément pertinent. L'ingénieur doit de plus en plus considérer le développement durable comme un critère d'analyse et de conception en soi, tant au stade de l'ingénierie préliminaire qu'à celui de l'ingénierie détaillée. Ainsi, l'exploitation d'une ressource naturelle ne doit pas se faire de façon à hypothéquer la possibilité qu'auront nos petits-enfants d'en faire de même.

CHAPITRE V ENJEUX CLIMATIQUES ACTUELS DE LA PLANETE ET POTENTIELS ENVIRONNEMENTAUX DE LA REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO

V.1 Enjeux climatiques actuels de la planète

V.1.1 L'effet de serre¹¹

Le soleil émet de l'énergie sous forme de rayonnement visible et invisible (rayonnements infrarouge et ultraviolet). Le rayonnement infrarouge du soleil traverse l'espace et l'atmosphère terrestre. Il est absorbé à 70% par la surface de la Terre, réchauffant naturellement les sols et les océans, qui émettent à leur tour un rayonnement infrarouge. Le reste est réfléchi vers l'atmosphère sous l'effet de la réverbération. Dans l'atmosphère, une partie du rayonnement provenant de la surface terrestre s'échappe vers l'espace. L'autre partie reste piégée dans l'atmosphère par les gaz à effet de serre (GES). Ces gaz absorbent le rayonnement et le renvoient vers la surface terrestre. L'effet de serre est un phénomène qui s'applique à toute planète dotée d'une atmosphère comme la Terre ou Vénus.

Le phénomène d'effet de serre est connoté de manière péjorative en raison de l'urgence climatique, mais il est indispensable à la vie sur Terre. En effet, les GES retiennent une partie de la chaleur solaire dans l'atmosphère, ce qui permet une température propice à la vie. Sans effet de serre, la température sur Terre avoisinerait les -18°C au lieu de + 14°C et la vie n'existerait peut-être pas.

L'effet de serre additionnel désigne l'amplification de l'effet de serre provoquée par l'activité humaine. En effet, les activités humaines rejettent des GES plus rapidement que la planète ne peut les absorber. Face à ce déséquilibre, la concentration atmosphérique en GES augmente, et le phénomène d'effet de serre devient plus intense. Davantage de chaleur est donc absorbée et réfléchie vers la Terre : c'est la cause principale du réchauffement climatique.

L'effet de réchauffement dépend de la quantité totale de GES accumulée dans l'atmosphère, de leur durée de vie dans l'atmosphère et de la capacité de chaque GES d'emprisonner la chaleur. Depuis le XIXe siècle, l'homme a considérablement accru la quantité de GES présents dans l'atmosphère.¹² En conséquence, l'équilibre climatique naturel est modifié et le

¹¹ : <https://climate.selectra.com/fr/comprendre/effet-de-serre>

¹² <https://www.ecologie.gouv.fr/changement-climatique-causes-effets-et-enjeux>

climat se réajuste par un réchauffement de la surface terrestre. Le monde se réchauffe désormais à une vitesse jamais observée dans l'histoire documentée. Au fil du temps, les températures plus élevées entraînent des variations climatiques et déstabilisent l'équilibre habituel de la nature. Cette situation pose de nombreux risques pour les êtres humains et toute autre forme de vie sur Terre.

V.1.2 Les principaux gaz à effet de serre

Certains GES sont naturellement présents dans l'air (vapeur d'eau, dioxyde de carbone). Si l'eau (vapeur et nuages) est l'élément qui contribue le plus à l'effet de serre « naturel », l'augmentation de l'effet de serre depuis la révolution industrielle du XIXe siècle est induite par les émissions d'autres GES provoquées par l'activité humaine:

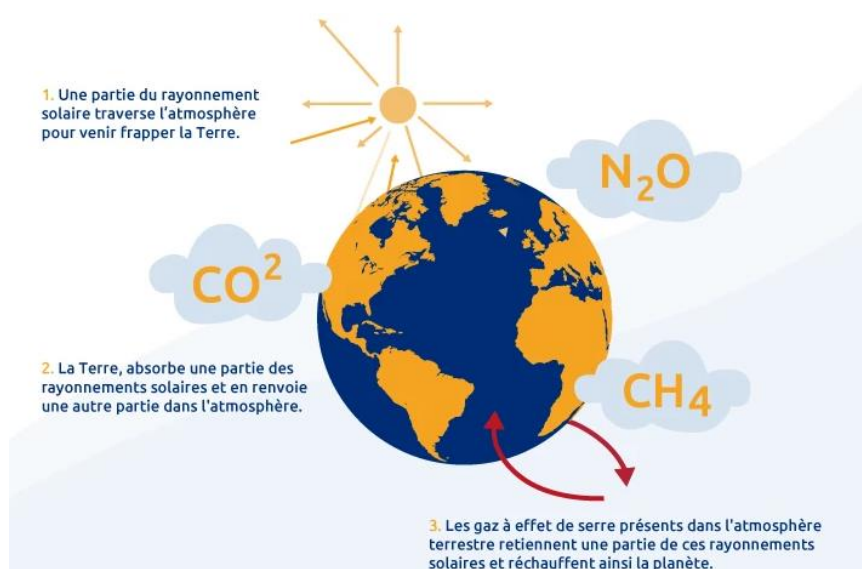


Figure 10 : Phénomène de l'effet de serre (<https://climate.selectra.com/fr/comprendre/effet-de-serre>)

- Le dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère contribue pour 2/3 de l'augmentation de l'effet de serre (combustion de gaz, de pétrole, déforestation, cimenteries, etc.). Sa durée de vie dans l'atmosphère est supérieure à une centaine d'années.
- Le méthane (CH_4) provient principalement des élevages des ruminants, des rizières inondées, des décharges d'ordures et des exploitations pétrolières et gazières. Sa durée de vie dans l'atmosphère est de l'ordre d'une dizaine d'année.
- Le protoxyde d'azote (N_2O) provient des engrais azotés et de certains procédés chimiques.

- L’hexafluorure de soufre (SF₆) dont les émissions sont dues principalement à la production de magnésium, à la fabrication et l’utilisation des équipements électriques de haute tension, à la fabrication de câbles et aux accélérateurs de particules. Sa durée de vie dans l’atmosphère est de l’ordre de 50 000 ans.

V.1.3 Effets du changement climatique

Les preuves scientifiques sont sans équivoque : le climat de la Terre se réchauffe. Depuis les années 1950, beaucoup de changements observés sont sans précédent depuis des décennies, voire des millénaires¹³.

- Températures plus élevées

L’augmentation des concentrations en GES se traduit par une hausse de la température à la surface du globe. La dernière décennie, de 2011 à 2020, a été la plus chaude jamais enregistrée. Depuis les années 1980, chaque décennie a été plus chaude que la précédente. Sur presque toutes les surfaces émergées, la fréquence des jours de chaleur et des canicules augmente. La hausse des températures entraîne une augmentation des maladies liées à la chaleur et rend le travail en plein air plus difficile. Les incendies de forêt se déclenchent plus facilement et se propagent plus rapidement dans des conditions plus chaudes. Dans l’Arctique, par rapport à la moyenne mondiale, les températures ont augmenté au moins deux fois plus vite.

- Tempêtes plus violentes

Les tempêtes destructrices sont devenues plus intenses et plus fréquentes dans de nombreuses régions. Du fait de la hausse des températures, une plus grande quantité d’humidité s’évapore, ce qui aggrave les précipitations extrêmes et les inondations et provoque des tempêtes plus dévastatrices. Le réchauffement des océans a également une incidence sur la fréquence et l’ampleur des tempêtes tropicales. Les eaux chaudes de surface alimentent les cyclones, les ouragans et les typhons. Bien souvent, ces phénomènes détruisent des habitations et des communautés, entraînant des pertes humaines et économiques considérables.

- Augmentation des sécheresses

Le changement climatique influe sur la disponibilité de l’eau, qui devient plus rare dans un plus grand nombre de régions. Le réchauffement climatique aggrave les pénuries d’eau dans

¹³ <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/organisation/transparence/breffage/enjeux-principaux-changements-climatiques.html>

des régions déjà en proie à des problèmes d'approvisionnement en eau ; il entraîne des risques accrus de sécheresse agricole néfaste pour les cultures et de sécheresse écologique rendant les écosystèmes plus vulnérables. Les déserts s'étendent, réduisant les surfaces propices aux cultures vivrières. De nombreuses personnes sont aujourd'hui confrontées à la menace d'un manque d'eau récurrent.

- Réchauffement et montée des océans

Les océans absorbent la majeure partie de la chaleur liée au réchauffement de la planète. Le rythme du réchauffement océanique a fortement augmenté au cours de ces deux dernières décennies, quelle que soit la profondeur considérée. Au fur et à mesure du réchauffement des océans, leur volume augmente, car l'eau se dilate lorsqu'elle gagne en température. La fonte des calottes glaciaires entraîne également une élévation du niveau des mers, mettant en péril les communautés côtières et insulaires. En outre, les océans absorbent quantité de dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère. Or, l'augmentation du dioxyde de carbone favorise l'acidification des océans, ce qui met en danger la faune et la flore marines et les récifs coralliens.

- Disparition d'espèces

Le changement climatique présente des risques pour la survie des espèces terrestres et océaniques. Ces risques augmentent avec la hausse des températures. Les incendies de forêt, et les phénomènes météorologiques extrêmes font partie des nombreuses menaces liées au changement climatique. Si certaines espèces seront capables de se déplacer et de survivre, d'autres ne le pourront pas.

- Pénuries de denrées alimentaires

Les modifications du climat et l'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes figurent au nombre des causes de l'aggravation de la faim et de la malnutrition dans le monde. Il existe un risque de destruction ou de perte de productivité des ressources halieutiques (relevant de la pêche), des cultures et des animaux d'élevage. En raison de l'acidification des océans, les ressources marines qui permettent de nourrir des milliards de personnes sont menacées. Le stress thermique peut entraîner une réduction des ressources en eau et des prairies destinées au pâturage, et de ce fait, une baisse du rendement des cultures et des répercussions sur le bétail.

- Accroissement des risques sanitaires

Les effets du changement climatique nuisent à la santé : pollution atmosphérique, maladies, phénomènes météorologiques extrêmes, déplacements forcés, aggravation de la faim et de la malnutrition dans des endroits où les populations ne parviennent pas à produire ou à trouver de la nourriture en suffisance. Chaque année, les facteurs environnementaux coûtent la vie à environ 13 millions de personnes. Les variations climatiques favorisent le développement des maladies et, en raison des phénomènes météorologiques extrêmes, le nombre de décès augmente et les systèmes de soins de santé ont du mal à suivre.

- Pauvreté et déplacements de populations

Le changement climatique accroît les facteurs qui précipitent des populations dans la pauvreté et les y maintiennent. Les inondations peuvent emporter les bidonvilles en milieu urbain, détruisant sur leur passage habitations et moyens de subsistance. Au cours de la dernière décennie (2010-2019), en raison de phénomènes météorologiques, environ 23,1 millions de personnes ont été déplacées en moyenne chaque année et bien davantage encore se sont retrouvées exposées à un risque de pauvreté. La plupart des réfugiés proviennent de pays qui sont les plus vulnérables et les moins prêts à s'adapter aux effets du changement climatique.

V.1.4 Causes du changement climatique¹⁴

Les combustibles fossiles, à savoir le charbon, le pétrole et le gaz, sont de loin les plus grands contributeurs au changement climatique mondial ; ils sont responsables de plus de 75 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre et de près de 90 % de toutes les émissions de dioxyde de carbone.

- Production d'énergie

La production d'électricité et de chaleur par la combustion de combustibles fossiles est à l'origine d'une grande partie des émissions mondiales. La majeure partie de l'électricité est encore produite par la combustion de charbon, de pétrole ou de gaz, ce qui génère du dioxyde de carbone. À l'échelle mondiale, un peu plus d'un quart de l'électricité provient de sources renouvelables (énergie éolienne, énergie solaire et autres) qui, contrairement aux combustibles fossiles, ne rejettent que peu ou pas de gaz à effet de serre ou de polluants dans l'air.

- Fabrication de produits

¹⁴ <https://www.un.org/fr/climatechange/science/causes-effects-climate-change>

Le secteur manufacturier et l'industrie génèrent des émissions, principalement dues à la combustion de combustibles fossiles pour produire l'énergie nécessaire à la fabrication de produits tels que le ciment, le fer, l'acier, les composants électroniques, les matières plastiques, les vêtements et d'autres biens. L'exploitation minière et d'autres processus industriels libèrent également des gaz, tout comme l'industrie de la construction. Les machines utilisées dans les processus de fabrication fonctionnent généralement au charbon, au pétrole ou au gaz et certains matériaux, comme les plastiques, sont fabriqués à partir de produits chimiques issus de combustibles fossiles. L'industrie manufacturière est l'une des principales sources d'émissions de GES dans le monde.

- Abattage de forêts

L'abattage de forêts pour faire place à des exploitations agricoles ou à des pâturages, ou pour d'autres raisons, entraîne des émissions. En effet, les arbres, une fois coupés, libèrent le carbone qu'ils ont stocké. Chaque année, environ 12 millions d'hectares de forêt sont détruits. Étant donné que les forêts absorbent le dioxyde de carbone, leur destruction limite également la capacité de la nature à empêcher les émissions dans l'atmosphère. La déforestation, associée à l'agriculture et à d'autres changements d'affectation des sols, est à l'origine d'environ un quart des émissions mondiales de GES.

- Utilisation de moyens de transport

Les voitures, les camions, les navires et les avions sont pour la plupart alimentés par des combustibles fossiles. De ce fait, les transports constituent une source importante d'émissions de GES et notamment de dioxyde de carbone. La majeure partie est imputable aux véhicules routiers, en raison de la combustion de produits dérivés du pétrole, comme l'essence, dans des moteurs à combustion interne. Toutefois, les émissions des navires et des avions continuent de croître. Les transports sont à l'origine de près d'un quart des émissions mondiales de dioxyde de carbone liées à l'énergie et les tendances laissent présager une augmentation importante de la consommation d'énergie dans ce secteur au cours des années à venir.

- Production de denrées alimentaires

La production de denrées alimentaires entraîne des émissions de dioxyde de carbone, de méthane et d'autres GES de diverses manières, notamment à travers la déforestation et le défrichage des terres pour l'agriculture et le pâturage, la digestion des bovins et des ovins, la production et l'utilisation d'engrais et, l'utilisation d'énergie pour faire fonctionner les équipements agricoles ou les bateaux de pêche, généralement au moyen de combustibles

fossiles. En raison de tous ces éléments, la production de denrées alimentaires constitue un facteur important du changement climatique.

- Alimentation des bâtiments en énergie

À l'échelle mondiale, les bâtiments résidentiels et commerciaux consomment plus de la moitié de l'électricité. Étant donné que le charbon, le pétrole et le gaz naturel continuent d'y être utilisés pour le chauffage et la climatisation, ces bâtiments émettent des quantités importantes de GES. Ces dernières années, l'accroissement de la demande en énergie pour le chauffage et la climatisation, associé à une augmentation du taux d'équipement en climatiseurs, ainsi que la hausse de la consommation d'électricité pour l'éclairage, les appareils et les dispositifs connectés, ont entraîné une augmentation des émissions de dioxyde de carbone liées à l'énergie dans les bâtiments.

- Surconsommation

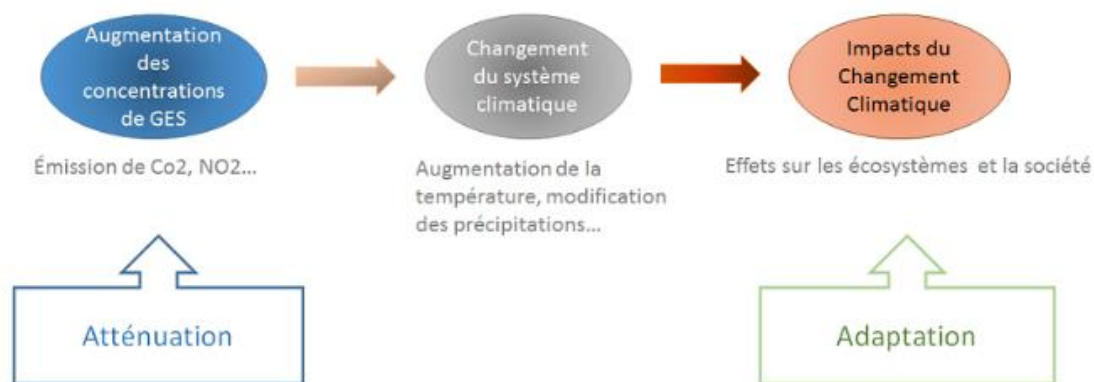
Le logement dans lequel on vit, l'énergie que l'on consomme, le mode de déplacement que l'on utilise, ce que l'on mange et la quantité de déchets que l'on met au rebut sont autant d'éléments qui contribuent aux émissions de GES. Il en va de même des biens que l'on consomme, tels que les vêtements, les appareils électroniques et les matières plastiques. Une grande partie des émissions mondiales de GES est liée aux particuliers. Nos modes de vie ont une incidence profonde sur notre planète. Les personnes les plus riches portent la plus grande responsabilité : ensemble, celles qui constituent le 1 % le plus aisé de la population mondiale sont à l'origine de plus d'émissions de GES que les 50 % de personnes les plus défavorisées.

V.1.5 Atténuation et adaptation : deux approches complémentaires

Pour limiter les effets du changement climatique, les pays signataires de la Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique (CCNUCC) se sont donnés pour objectif dans l'Accord de Paris de « contenir l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et en poursuivant l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels, étant entendu que cela réduirait sensiblement les risques et les effets des changements climatiques ».

Pour ce faire, il est crucial de s'attaquer aux causes du changement climatique en maîtrisant les émissions nettes de GES, c'est ce qu'on appelle l'atténuation.

Cependant, compte tenu de l'inertie climatique et de la grande durée de vie des GES accumulés dans l'atmosphère, l'augmentation des températures d'ici à la fin du siècle est inévitable et toutes les régions du monde sont concernées. L'adaptation au changement climatique est donc nécessaire pour en limiter les conséquences sur les activités socio-économiques et sur la nature. L'adaptation a pour objectifs d'anticiper les impacts du changement climatique, de limiter leurs dégâts éventuels en intervenant sur les facteurs qui contrôlent leur ampleur (par exemple, l'urbanisation des zones à risques) et de profiter des opportunités potentielles.



Crédits : Meem/Onerc

V.2 Potentiels environnementaux de la République Démocratique du Congo¹⁵

Depuis l'organisation de la Precop27 et de la Cop27, la RDC a été placée au centre des enjeux climatiques de la planète, comme le veut son positionnement de Pays-solution à la crise climatique. En effet, riche de ses ressources naturelles, la RDC joue un rôle important dans la lutte contre le changement climatique. Les ressources naturelles de la RDC sont au cœur de la transition écologique actuelle et désormais au centre du débat sur la lutte contre le changement climatique.

C'est autour de 4 volets que la RDC entend se positionner comme Pays Solution¹⁶

¹⁵ <https://medd.gouv.cd/>

1. Le massif forestier
2. Les ressources en eau
3. La biodiversité
4. Les minerais stratégiques

- Un immense potentiel forestier

En 2021, le gouvernement a adopté une série de mesures visant à améliorer la gouvernance du secteur forestier et combattre la déforestation. Le programme de plantation d'un milliard d'arbres à l'horizon 2023 a été lancé, avec pour objectif de contribuer à la restauration des écosystèmes, et à l'augmentation du couvert forestier qui devra atteindre 63% du territoire national d'ici 2030.

Avec 155,5 millions d'hectares de forêt tropicale humide, le bassin du Congo est la deuxième plus grande forêt tropicale du monde. Située aux deux tiers en RDC, la forêt est également une grande réserve de biodiversité.

A cet énorme massif forestier s'ajoutent des vastes étendus de tourbières, couvrant environ 101.500 km² du territoire national.

Son atout principal reste sa capacité d'absorption de carbone, près de 1.5 milliards de tonnes de dioxyde de carbone par an soit 4% des émissions mondiales [Central African ForestInitiative,2021].

Les forêts de la RDC quant à elles séquestrent quotidiennement près de 24,5 Gigatonnes de GES, dont les 3/4 sont concentrés sur 43% de la superficie du pays. Ses tourbières constituent un stock naturel de plus de 30 Gigatonnes de dioxyde de carbone, soit l'équivalent de plus de deux ans d'émissions mondiales de GES.

Cela lui confère un rôle stratégique dans la lutte contre le changement climatique en tant que 1er poumon de la planète. Contrairement à la plupart des pays forestiers, la RDC n'a pas pratiqué de l'exploitation forestière industrielle pendant les décennies passées. Ce qui explique que bon nombre de ses forêts sont demeurées intactes, avec une haute valeur écologique.

¹⁶ <https://drcprecop27.meddd.gouv.cd/fr/yangambi.php>

C'est ensemble, avec les pays du Bassin du Congo, notamment, que la RDC prône la protection de ses forêts. Les forêts de la RDC restent l'espoir de l'humanité en termes de puits de carbone

- Des réserves importantes en minerais stratégiques

Le sous-sol congolais regorge d'importantes réserves de substances minérales telles que le cobalt (62% des réserves mondiales), le cuivre (10% des réserves mondiales), le Colombo Tantalite (Coltan), le Germanium, le Lithium, le nickel, le graphite, l'aluminium, et bien d'autres, indispensables à la transition écologique actuelle.

Sans transition écologique, il sera impossible de contenir l'augmentation de la température mondiale à 1,5° Celsius.

En effet, le cobalt et le lithium servent à la fabrication de batteries, des moteurs, et des carrosseries des véhicules électriques. Tandis que le Colombo Tantalite (Coltan) et le Germanium sont nécessaires à l'électronique et aux nouvelles technologies de l'information et de la communication.

C'est pourquoi la RDC s'est engagée à améliorer la gouvernance de ses minerais stratégiques, en vue de leur exploitation dans le respect des principes de développement durable.

- D'abondantes ressources en eau douce

La RDC est un véritable réservoir d'eaux douces pour la planète. Le fleuve Congo mesure 4.700 km de long. Il est le second plus long d'Afrique après le Nil. Il a un débit moyen de 45.000 m³ par seconde, soit le second après l'Amazone. Il est le fleuve le plus profond du monde (220 m de profondeur).

Le bassin du Congo dont il relève charrie environ 10% des eaux douces de la planète, et 52% de celles du continent africain. Cependant, les eaux intérieures de la RDC représentent environ 67% des eaux du bassin du Congo.

- Un potentiel touristique considérable et une riche biodiversité

La diversité biologique de la RDC est l'une des plus riches au monde en raison des innombrables et variables richesses fauniques et floristiques qui la compose. Le pays regorge de 352 espèces de reptiles dont 33 endémiques, 168 espèces d'amphibiens, 1.086 espèces d'oiseaux dont 23 endémiques, 421 espèces de mammifères dont 28 endémiques et plus d'un millier d'espèces des poissons.

On y rencontre des espèces emblématiques telles que le Bonobo, le paon, l'okapi, le gorille de montagnes, etc. En outre, le pays possède 9 parcs nationaux, plus d'une soixantaine de domaines de chasse et réserves naturelles couvrant actuellement plus de 13,5 % du territoire national; une superficie que le pays s'est engagé à accroître à 17% du territoire national dans un avenir proche.

En dépit des efforts de protection, ce riche et unique patrimoine est aujourd'hui menacé par divers facteurs dont le braconnage, l'expansion agricole, l'exploitation minière et forestière artisanales, le manque d'alternatives économiques pour les communautés riveraines, le déficit en énergie électrique.