

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie d'Oran
Mohamed BOUDIAF
Faculté de Génie Mécanique
Département de Génie Mécanique

Dr. SAFER Khadidja

Environnement et Développement Durable

Polycopié de Cours

**3^e année de licence
en Génie Mécanique
Option énergétique**

2015

Ce cours traite de l'**environnement**, du **développement durable et de ses mécanismes**, des **ressources mondiales** et de la **pollution**. Il comporte aussi un volet sur la **légalisation relative à l'environnement** à travers le monde et en Algérie.

Il ne suppose connues que les bases essentielles de thermodynamique, de chimie et de transfert de chaleur.

Il est destiné aux étudiants de **3^e année de licences techniques**, et particulièrement aux étudiants de **Génie Mécanique, option Energétique**. Il est conforme aux nouveaux programmes établis par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique dont l'application est rentrée en vigueur durant l'année universitaire 2015-2016.

L'objectif essentiel de ce cours est de sensibiliser l'étudiant à la relation entre énergie, environnement et développement durable. La formation de l'étudiant en Génie Mécanique doit obligatoirement comprendre l'aspect énergétique et sa relation avec le développement durable. L'étudiant doit prendre connaissance des principes et des techniques actuelles de développement durable pour pouvoir les appliquer. Il aura ainsi acquis des connaissances de base qu'il pourra mettre en œuvre en entreprise et pourra devenir dans le futur un des acteurs du développement propre.

Avant - propos

Ce cours traite de l'environnement, du développement durable et de ses mécanismes, des ressources mondiales et de la pollution. Il comporte aussi un volet sur la législation relative à l'environnement à travers le monde et en Algérie.

Il ne suppose connues que les bases essentielles de thermodynamique, de chimie et de transfert de chaleur.

Il est destiné aux étudiants de 3^e année de licences techniques, et particulièrement aux étudiants de Génie Mécanique, option Energétique. Il est conforme aux nouveaux programmes établis par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique dont l'application est rentrée en vigueur durant l'année universitaire 2015-2016.

L'objectif essentiel de ce cours est de sensibiliser l'étudiant à la relation entre énergie, environnement et développement durable. La formation de l'étudiant en Génie Mécanique doit obligatoirement comprendre l'aspect énergétique et sa relation avec le développement durable. L'étudiant doit prendre connaissance des principes et des techniques actuelles de développement durable pour pouvoir les appliquer. Il aura ainsi acquis des connaissances de base qu'il pourra mettre en œuvre en entreprise et pourra devenir dans le futur un des acteurs du développement propre.

Table des matières

1. Introduction à la notion d'environnement	01
1.1 Définition de l'environnement	01
1.1.1 Définition générale	01
1.1.2 Définition juridique	02
1.2 Bref historique	02
1.3 L'homme et l'environnement	03
1.3.1 Effets néfastes de l'homme sur l'environnement	03
1.3.2 Effets positifs de l'homme sur l'environnement	04
2. Notion de développement durable	06
2.1 Définition du développement durable	06
2.2 Bref historique	08
2.3 Principes fondamentaux du développement durable	11
2.3.1 Principe de prévention	11
2.3.2 Principe de précaution	11
2.3.3 Principe de participation et d'engagement	11
2.3.4 Principe de protection de l'environnement	12
2.3.5 Principe de solidarité	12
2.3.6 Principe de responsabilité	12
2.3.7 Principe d'éthique	12
2.4 Objectifs du développement durable	13
2.5 Enjeux environnementaux du développement durable	13
2.6 Législation sur le développement durable en Algérie	14
3. Environnement et ressources naturelles	16
3.1 Introduction.....	17
3.2 Ressources naturelles	17
3.2.1 Eau.....	18

3.2.2 Air.....	19
3.2.3 Sol	20
3.2.4 Minerais	21
3.2.4.1 Minerais destinés à produire des matériaux de construction	21
3.2.4.2 Minerais industriels	22
3.2.4.3 Minerais utilisés pour l’agriculture	22
3.2.4.4 Métaux	22
3.2.4.5 Métaux rares	23
3. 3 Sources d’énergie	24
3.3.1 Energies fossiles	24
3.3.1.1 Charbon	25
3.3.1.2 Pétrole	26
3.3.1.3 Gaz naturel	28
3.3.1.4 Energie nucléaire	30
3.3.2 Energies renouvelables	33
3.3.2.1 Energie solaire	33
3.3.2.2 Energie éolienne	33
3.3.2.3 Energie hydraulique	34
3.3.2.4 Energie géothermique	35
3.3.2.5 Biomasse	36
3.4 Cogénération	37
4. Substances polluantes	38
4.1 Introduction.....	39
4.2 Effets globaux de la pollution	39
4.3 Polluants atmosphériques	39
4.3.1 Composés carbonés.....	41
4.3.2 Composés azotés	41
4.3.3 Composés soufrés	42
4.3.4 Composés organiques	42
4.3.5 Métaux lourds	42
4.3.6 Particules	43
4.3.7 Chlorofluorocarbones (CFC)	43

4.3.8	Dioxines et furannes	44
4.3.9	Unités de mesure des polluants atmosphériques	44
4.4	Polluants de l'eau	45
4.5	Ozone	47
4.5.1	Ozone stratosphérique	47
4.5.2	Ozone troposphérique	48
4.6	Impacts de la pollution	49
4.6.1	Effet de serre et réchauffement climatique	49
4.6.2	Pluies acides	49
4.6.3	Smog	50
4.6.4	Eutrophisation	51
5.	Préservation de l'environnement	52
5.1	Introduction	53
5.2	Techniques de réduction de la pollution dans les procédés industriels	53
5.2.1	Incinération thermique	54
5.2.2	Incinération catalytique	55
5.2.3	Utilisation des torches	55
5.2.4	Adsorption	55
5.2.5	Absorption	56
5.2.6	Filtres	56
5.2.7	Réduction des NO _x	57
5.2.8	Réduction des oxydes de soufre	57
5.2.9	Condensation	58
5.3	Recyclage	58
5.3.1	Classification des déchets	58
5.3.2	Méthodes de valorisation par le recyclage	59
5.4	Mécanismes économiques de la préservation de l'environnement	60
5.4.1	Ecotaxe et principe du pollueur-payeur	60
5.4.2	Evaluation du coût-bénéfice	60
5.4.3	Financement des projets écologiques	61
5.4.4	Permis d'émissions négociable	61
5.5	Mécanismes juridiques et règlementaires de la préservation de l'environnement	61

5.6 Acteurs de la préservation de l'environnement	62
5.6.1 Organismes internationaux	62
5.6.2 Gouvernements et pouvoirs publics	62
5.6.3 Collectivités locales	62
5.6.4 Entreprises	62
5.6.5 Citoyens	63
5.7 Législation algérienne en matière d'environnement	63
Références bibliographiques	66

Introduction à la notion d'environnement

1

Sommaire

1.1 Définition de l'environnement	01
1.1.1 Définition générale	01
1.1.2 Définition juridique	02
1.2 Bref historique	02
1.3 L'homme et l'environnement	03
1.3.1 Effets néfastes de l'homme sur l'environnement	03
1.3.2 Effets positifs de l'homme sur l'environnement	04

1.1 Définition de l'environnement

L'environnement est défini comme l'ensemble des éléments qui entourent une espèce. Ces éléments contribuent pour certains à assurer les besoins naturels des espèces. L'environnement peut être également défini comme la composition de conditions naturelles physiques, chimiques ou biologiques qui agissent sur les organismes vivants et les activités humaines.

1.1.1 Définition générale

D'une façon plus générale, l'environnement est considéré comme l'ensemble des facteurs qui ont une influence sur le milieu des êtres humains. Cette définition met l'homme au centre de la civilisation.

Une notion beaucoup plus large de l'environnement concerne la protection du milieu naturel, l'aménagement du territoire et la protection des sites naturels ou historiques.

1.1.2 Définition juridique

En 1967, une première directive européenne définissait juridiquement l'environnement comme étant : l'eau, l'air et le sol, ainsi que les rapports de ces éléments entre eux d'une part, et avec tout organisme vivant d'autre part.

Actuellement, la définition suivante existe dans les textes juridiques : « ensemble des éléments qui dans la complexité de leurs relations constitue le cadre, le milieu et les conditions de vie de l'homme tels qu'ils sont ou tels qu'ils sont ressentis. »

En Algérie, la législation définit l'environnement dans la loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 comme suit : « les ressources naturelles abiotiques et biotiques telles que l'air, l'atmosphère, l'eau, le sol et le sous-sol, la faune et la flore y compris le patrimoine génétique, les interactions entre lesdites ressources ainsi que les sites, les paysages et les monuments naturels. » [1]

1.2 Bref historique

Avant le 19^e siècle, la notion d'environnement avait une consonance de respect de la vie et des êtres vivants. Les concepts d'environnement économique, naturel ou urbain ne semblaient pas exister.

A partir du 19^e siècle, le milieu artistique tel que le mouvement du romantisme a mis en avant la beauté des paysages naturels sauvages et donc la nécessité de préserver ces biens précieux.

Le premier site naturel protégé a été créé en 1864 aux Etats Unis par le président Lincoln sous forme de parc national dans Yosemite Valley. Plusieurs parcs nationaux ont été créés depuis dans différents pays du monde.

En 1896, Arrhenius étudie l'effet de l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère. Il a cité pour la première fois la vapeur d'eau et le CO₂ comme gaz à effet de serre.

A la fin du 19^e siècle, les premières catastrophes écologiques apparaissent avec le développement de la révolution industrielle, qui a provoqué une très forte élévation de la consommation des ressources naturelles.

Le 20^e siècle a connu les premières catastrophes écologiques visibles, comme les marées noires et la pollution industrielle. Les scientifiques commencent à comprendre les phénomènes de pollution et à mettre en garde la communauté internationale contre les effets de cette pollution. Suite à une prise de conscience de ces problèmes, plusieurs conférences internationales ont eu lieu et des protocoles ont été signés.

La première conférence internationale a été celle de Stockholm en 1972, suivie de celle de Rio de Janeiro en 1990.

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

1.3 L'homme et l'environnement

L'homme est le premier responsable des changements qui se déroulent dans l'environnement de par ses activités et son mode de vie qui ne cessent d'évoluer. Il a des effets néfastes et des effets bénéfiques sur l'environnement.

1.3.1 Effets néfastes de l'homme sur l'environnement

Parmi les effets destructeurs de l'homme sur l'environnement, l'augmentation de la population mondiale entraîne la construction d'habitations de plus en plus nombreuses et l'extension des villes. Cette extension provoque l'apparition de chantiers de construction, le terrassement des terrains et le développement des routes et liaisons entre les villes, ce qui

modifie considérablement le paysage et transforme la nature. Les moyens de transport de plus en plus nombreux provoquent la pollution atmosphérique. Les quantités énormes de déchets ménagers dus à l'augmentation de la population mondiale sont très difficiles voire impossibles à gérer à l'heure actuelle, malgré les différentes techniques qui existent pour les détruire en minimisant la pollution.

L'extraction des minerais et matériaux nécessaires à la construction comme la roche, le sable et le gravier extraits des carrières modifient également le paysage et déstructurent le milieu naturel alentours. La déforestation et la création de barrages jouent aussi un rôle néfaste dans la destruction de l'équilibre des milieux naturels et contribuent à la disparition d'espèces animales et végétales.

L'industrie produit des déchets en tous genres : solides, liquides ou gazeux qui constituent actuellement un réel problème environnemental. L'industrie chimique provoque la pollution des eaux des rivières et des cours d'eau en les rendant impropres à la pêche et à la consommation. La qualité de l'eau se dégrade et des dizaines de maladies des hommes, de la faune et de la flore aquatiques apparaissent.

Les marées noires dues au déversement des hydrocarbures dans les mers et océans sont de véritables catastrophes écologiques car elles causent la perte de centaines de poissons et d'oiseaux marins.

La pêche intensive est à l'origine de la disparition de certaines espèces marines et de la diminution des réserves mondiales de poisson.

Enfin, l'introduction de certaines espèces dévastatrices produit la destruction de l'équilibre naturel et provoque l'extinction des espèces originaires du milieu en question.

1.3.2 Effets positifs de l'homme sur l'environnement

L'homme a aussi des effets favorables sur l'environnement. La législation en faveur de l'écologie dans presque tous les pays du monde le prouve.

Les tendances actuelles à travers le monde pour réduire la pollution commencent à être palpables. Certains déchets industriels ou ménagers sont recyclés. La loi règlemente de plus en plus le rejet des déchets nocifs. Ces derniers sont triés, valorisés et traités dans des lieux adaptés comme les incinérateurs, ou encore transformés en énergie. Le recyclage permet aussi

de récupérer la matière première et donc de l'économiser, tout en l'empêchant de polluer la nature.

Les STEP (Stations d'Épuration) des eaux usées permettent également de récupérer les résidus d'épuration des eaux et d'en faire du biogaz utilisé pour produire de l'énergie thermique et électrique.

La protection des forêts contre la désertification et la déforestation est aussi une action favorable de l'homme sur l'environnement. La faune et la flore sont sauvegardées et les espèces qui y vivent sont ainsi préservées. La création des parcs nationaux et des réserves protégées ainsi que la réglementation de la chasse et de la pêche permettent actuellement de réduire d'une manière significative les effets destructeurs de l'homme sur la nature.

Notion de développement durable

2

Sommaire

2.1 Définition du développement durable	06
2.2 Bref historique	08
2.3 Principes fondamentaux du développement durable	11
2.3.1 Principe de prévention	11
2.3.2 Principe de précaution	11
2.3.3 Principe de participation et d'engagement	11
2.3.4 Principe de protection de l'environnement	12
2.3.5 Principe de solidarité	12
2.3.6 Principe de responsabilité	12
2.3.7 Principe d'éthique	12
2.4 Objectifs du développement durable	13
2.5 Enjeux environnementaux du développement durable	13
2.6 Législation sur le développement durable en Algérie	14

2.1 Définition du développement durable

Le développement durable est une notion de réalisation de projets de différents types en prenant en considération trois critères de base : l'équité sociale, l'efficacité économique et le respect de l'environnement (figure 2.1).

Actuellement, au niveau mondial, les ressources en matière première diminuent. La pollution augmente et continue à avoir de plus en plus d'effets visibles sur la planète. D'autre part, des problèmes d'ordre social et économique se font de plus en plus ressentir, comme le

chômage, la surpopulation, les problèmes de santé, d'éducation, d'exclusion, de pauvreté, de malnutrition...

Le développement durable vise à résoudre tous ces problèmes à la fois.

Par l'équité sociale, les droits des travailleurs sont respectés, le chômage diminue ce qui résout beaucoup d'autres problèmes sociaux et enrayer les inégalités. L'être humain est respecté et ses droits préservés. Les plus démunis sont protégés.

Par l'efficacité économique, les projets aboutissent et sont rentables pour le pays ou la région, et aussi pour les travailleurs.

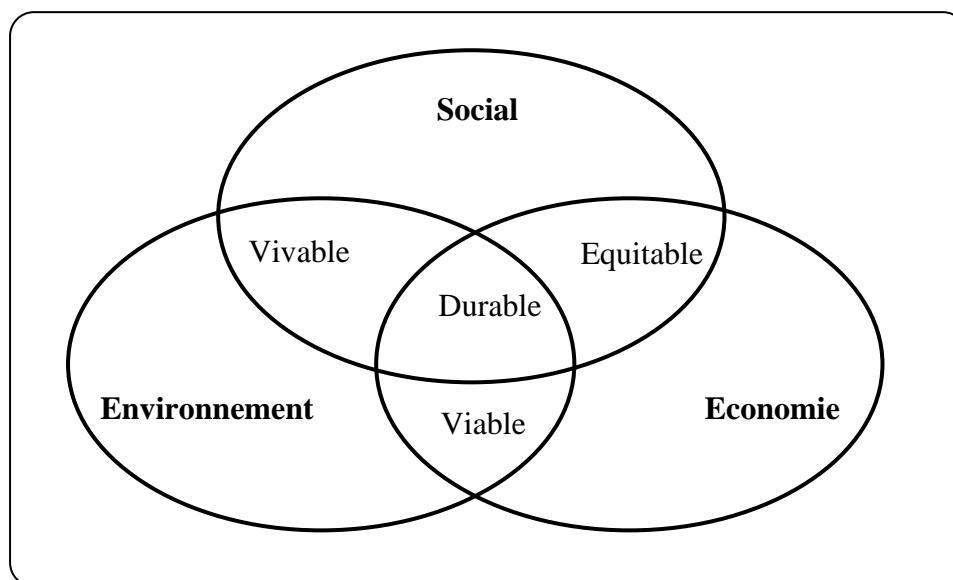


Figure 2.1 Schéma expliquant que le développement durable passe par l'optimisation des décisions dans les domaines économique, social et environnemental [2].

Par le respect de l'environnement, la pollution diminue et la planète est préservée.

Le développement durable est basé sur une idée fondamentale qui consiste à être conscient que les ressources de la planète ne sont pas illimitées, tandis que la population ne cesse d'augmenter (2 milliards d'habitants en 1960, plus de 6 milliards aujourd'hui et 9 milliards en 2050 selon les prévisions de l'ONU) et les technologies de se développer.

Le développement durable est donc bénéfique pour les générations futures tout en profitant aux générations actuelles. C'est un développement à long terme.

2.2 Bref historique

Le premier modèle de développement durable a été proposé par l'économiste Thomas Malthus, qui a analysé en 1798 dans son ouvrage intitulé *Essai sur le principe de population* [3] la durabilité de la société. Il a mis en relief la relation entre la disponibilité de la nourriture et la croissance démographique.

Plus tard en 1968, un groupe non politique et indépendant appelé « Groupe de Rome », a été créé pour analyser les problèmes majeurs de l'humanité afin d'aider les décideurs et d'informer le grand public. Ce groupe était composé de scientifiques, d'économistes, d'hommes d'Etat, d'hommes d'affaires et de hauts dignitaires internationaux. Leur but était d'élaborer une vision universelle de la situation de l'humanité. Ils ont confié la simulation de l'avenir de l'humanité à une équipe de chercheurs dirigée par Jay Forrester de la prestigieuse université américaine Massachusetts Institute of Technology. Les résultats de ces travaux ont poussé le Groupe de Rome à préconiser l'arrêt de la croissance économique mondiale. Ce groupe existe toujours et a actuellement pour rôle de sensibiliser les dirigeants aux problèmes liés à la planète.

La première conférence sur le développement durable a eu lieu à Stockholm du 5 au 16 juin 1972 avec plus de 1400 participants de 113 pays. Elle avait pour slogan « Une seule Terre ».

Un modèle de développement économique qui tient compte de l'écologie y est né. Il s'agit de l'écodéveloppement. Selon ce modèle, les pays développés doivent utiliser tous les moyens pour préserver l'environnement car ce sont les premiers responsables de la pollution dans le monde et les seuls qui disposent de moyens financiers pour le faire.

La « déclaration de Stockholm » est considérée comme le début du développement durable. Elle est constituée de 26 principes qui portent sur la protection de l'environnement, l'éradication de la pauvreté et l'amélioration des conditions économiques dans le monde.

Le 16 novembre 1972, l'ONU a mis en place une convention qui concerne la protection du patrimoine mondial culturel et naturel.

Un rapport fait par le premier ministre norvégien Brundtland en 1987 et commandé par les Nations Unies fait apparaître pour la première fois la notion de développement durable. Ce rapport préconise un changement radical dans le processus de développement en considérant

la protection de l'environnement comme une priorité et en insistant sur une redistribution équitable des richesses mondiales.

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

Le rapport Bruntland a entraîné l'organisation d'une conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement durable. Il s'agit de la conférence de Rio de Janeiro de 1992 qui est considérée comme un plan d'action pour le 21^e siècle. Cette conférence qui s'est tenue du 3 au 14 juin a réuni plus de 172 pays et 2400 représentants d'organisations non gouvernementales. 108 chefs d'Etat ou de gouvernement y ont participé. L'importance de cette conférence lui a donné le nom de Sommet de la Terre. C'est l'extension de la conférence de Stockholm à l'action et aux décisions politiques.

Le concept de développement durable se consacre alors en actes : un agenda a été adopté. Il s'agit de l'Agenda 21 qui vise à mettre en action les trois principes du développement durable. En plus de cet agenda, plusieurs documents ont été adoptés :

- la déclaration de Rio sur l'environnement et le développement durable, qui n'est pas juridiquement contraignante et qui repose sur 27 principes et constitue la prolongation de la déclaration de Stockholm,
- la convention sur la biodiversité,
- la déclaration de principe sur les forêts,
- la convention sur les changements climatiques.

En 1993, l'Europe a lancé le programme « villes durables européennes » qui avait pour but de réaliser l'Agenda 21 au niveau du continent, en aidant et en encourageant ces villes à appliquer ce plan d'action.

Le 11 décembre 1997 à Kyoto au Japon, un protocole a été signé par 38 pays industrialisés afin de réduire leurs émissions des principaux gaz à effet de serre d'au moins 5% durant la période allant de 2008 à 2012. Ces gaz considérés comme responsables du réchauffement climatique sont : le dioxyde de carbone CO_2 , le méthane CH_4 , l'oxyde nitreux N_2O , l'hexafluorure de soufre SF_6 , les hydrofluorocarbures HFC et les hydrocarbures perfluorés PCF .

Le protocole de Kyoto délivre des permis d'émission qui permettent de vendre ou d'acheter des droits à émettre ces gaz entre pays. Ce protocole permet aussi de procéder à des investissements qui visent à réduire les gaz à effet de serre en dehors des pays industrialisés et de bénéficier ainsi de crédits d'émission produits par les réductions ainsi obtenues.

Des « Mécanismes de Développement Propre » ou MDP peuvent être mis en place dans les pays en développement et financés par un pays développé. Il est à noter que les Etats Unis ont refusé de signer le protocole de Kyoto.

Le Sommet de la Terre de Johannesburg s'est déroulé du 26 août au 4 septembre 2002 dans la continuité des sommets de Stockholm et Rio. Cette conférence avait pour objet exclusif le développement durable et l'état d'avancement de l'Agenda 21. Elle avait également pour but d'identifier les efforts supplémentaires possibles en matière de réduction de la pollution et d'inciter les pays riches à collaborer plus avec les pays en développement dans ce domaine. Ce sommet a regroupé 22 000 participants de 193 pays. 100 chefs d'Etat y ont assisté. Les représentants du domaine des affaires et de l'industrie étaient présents en nombre.

Malheureusement, il a été constaté que les recommandations du sommet de Rio n'avaient pas été respectées dans la mesure où très peu de pays riches avaient mis en place des stratégies de développement durable et que les aides aux pays en développement étaient dérisoires. De nouvelles dispositions ont donc été mises au point. Le nouveau plan d'action comportait plusieurs thèmes : énergies renouvelables, biodiversité, aide aux pays en développement. Les décisions portaient sur l'eau, l'énergie, la santé, l'agriculture et visaient à réduire la pauvreté et la pollution.

Cependant, les résultats de ce sommet ont été décevants. Les objectifs sont loin d'être atteints. Bien que plusieurs pays industrialisés comme la Russie, la Chine et le Canada aient annoncé la ratification prochaine du protocole de Kyoto, les Etats Unis refusent toujours de le faire. Avec les pays Européens, ils se sont contentés de promesses d'aide aux pays pauvres, ce qui ne change pas la situation actuelle dans le monde.

Le Sommet de Jakarta en Indonésie qui s'est tenu en 2007 avait pour objectif de lancer un développement intégral durable sur les 30 prochaines années. Une profonde réforme globale a été proposée en ce qui concerne les conditions écologiques, sociales, économiques et politiques mondiales, tout en respectant les spécificités culturelles de chaque pays.

Plusieurs mesures ont été prises, notamment la création d'un système de gouvernance des richesses naturelles mondiales comme l'eau, les océans, l'atmosphère et la promotion de la paix et de la culture dans le monde. La création de nouveaux indicateurs de la préservation de l'environnement et l'application d'un impôt sur les transactions internationales ainsi que la promotion de l'éducation et du développement durables ont également été parmi les mesures prises lors de ce sommet .

2.3 Principes fondamentaux du développement durable

La notion de développement durable repose sur un nombre de principes qui ont été exprimés lors de tous les sommets et conférences internationales cités précédemment. Ces principes sont les suivants :

2.3.1 Principe de prévention

Des mesures doivent être prises chaque fois qu'il y a présence d'un risque connu et identifié. Ces actions doivent être mises en place en priorité en mettant en œuvre les meilleures techniques disponibles au coût minimal acceptable.

2.3.2 Principe de précaution

La précaution doit être de rigueur dans les décisions afin d'éviter des catastrophes qui pourraient nuire à la santé et à l'environnement. Des mesures provisoires et proportionnées doivent être prises par les autorités compétentes pour évaluer les risques encourus et éviter les dommages. Par exemple, le fait de limiter les émissions de gaz à effet de serre permet de ralentir le réchauffement climatique.

2.3.3 Principe de participation et d'engagement

Le développement durable exige la participation de tous les partenaires sociaux , politiques et économiques dans les projets. Les citoyens au même titre que les responsables des projets et les gouvernants doivent s'impliquer pour assurer la réussite des projets durables. Des conseils doivent être créés pour convaincre et sensibiliser les citoyens sur l'importance de tels projets pour la société et l'avenir.

2.3.4 Principe de protection de l'environnement

Le développement durable repose sur le principe de respect et de protection de l'environnement. Sans cette condition, il n'existerait pas. Tous les projets de développement durables doivent être écologiques. Les nouvelles technologies développées pour réduire la pollution doivent être appliquées. Tout cela vise à réaliser l'un des principaux objectifs du développement durable qui consiste à diminuer la pollution afin de préserver la planète et les générations futures.

2.3.5 Principe de solidarité

La solidarité et le partage des ressources de la Terre est un principe fondamental du développement durable. Les pays doivent partager les matières premières équitablement entre eux, en en laissant aux générations futures. La solidarité doit exister entre les Etats, notamment entre les pays industrialisés et les pays en voie de développement, ainsi qu'entre les générations. L'économie des matières premières constitue donc une nécessité pour respecter ce principe.

2.3.6 Principe de responsabilité

Les participants aux projets de développement durable doivent assumer le coût des mesures de prévention et de précaution. Les pollueurs doivent également couvrir les frais occasionnés par la pollution qu'ils génèrent, ainsi que les frais de réduction et de lutte contre la pollution. Les prix des biens et services sont fixés suivant les coûts qu'ils occasionnent tant au niveau de la production que de la consommation. Ces prix doivent être proportionnels au taux de pollution généré, c'est-à-dire que ceux qui polluent le plus doivent payer le plus. Un bon exemple est de faire payer des taxes aux grands pollueurs industriels.

2.3.7 Principe d'éthique

Les méthodes de production et de consommation doivent réduire au minimum les impacts négatifs sur les plans social et environnemental. Il faut éviter le gaspillage, l'épuisement des ressources, les inégalités entre les personnes. Le facteur humain doit être pris en compte. Par exemple, les revenus des ouvriers doivent pouvoir subvenir au minimum de leurs besoins. Leurs droits comme la durée et les conditions de travail doivent être respectés.

2.4 Objectifs du développement durable

Le développement durable consiste à un développement économique accompagné d'un développement social et écologique. Il ne consiste pas seulement en la croissance économique et de consommation. Le mot durable signifie un développement qui vise à améliorer la condition humaine à long terme, en même temps que l'économie et l'environnement. Ces trois éléments sont indissociables.

En effet, l'éradication de la pauvreté ne peut se faire sans développement économique pour financer les programmes sociaux. D'un autre côté, il n'est pas possible de répondre aux besoins de la population mondiale sans croissance économique.

La protection de l'environnement doit accompagner la croissance économique, sans cela, les ressources de la Terre s'épuiseront.

La protection de l'environnement doit accompagner la lutte contre la pauvreté car les populations pauvres sont obligées d'avoir des actions non écologiques pour survivre, comme la destruction des forêts, des cours d'eau, ou la pêche intensive.

C'est pour cela que les trois objectifs du développement durable qui sont : l'écologie, la lutte contre la pauvreté et la protection des ressources de la Terre sont simultanés.

2.5 Enjeux environnementaux du développement durable

Un des principaux enjeux du développement durable est la réduction de la pollution. Les gaz à effets de serre constituent actuellement le principal but dans ce sens. Le cas particulier de la réduction des émissions de CO_2 permet de faire face aux changements climatiques. Ceci constitue le défi majeur du 21^e siècle. Ces émissions doivent être réduites de 50% à 85% d'ici 2050 afin de limiter, selon les experts du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, les perturbations dangereuses et irréversibles du système climatique [4, 5]. Cet objectif de réduire les émissions du CO_2 est très difficile à réaliser à cause de l'origine de ces émissions qui sont les ressources fossiles comme le pétrole et le charbon. La réalisation de ce but implique de profonds changements dans le mode de production qu'ont les pays industrialisés actuellement.

Les pays industrialisés ont accepté de réduire leurs émissions en signant le protocole de Kyoto, mais ont exigé en échange une plus grande flexibilité dans l'utilisation des quotas de CO_2 . Ceci se traduit par la possibilité pour un pays de dépasser son quota en achetant le droit d'émission d'un autre pays. Le plafond global de tous les pays n'est ainsi pas dépassé. Il devient donc intéressant pour un Etat de réduire ses émissions de gaz à effets de serre afin de pouvoir vendre ses droits d'émettre excédentaires au marché international.

Le mécanisme pour un développement propre ou MDP est opérationnel depuis 2005. Il permet d'encourager le transfert de technologie vers les pays en voie de développement. Les émissions de gaz à effets de serre peuvent être réglementées par deux dispositifs [6] :

- un système de permis : des autorisations administratives d'émettre du CO_2 sont délivrées.
- un système de crédits : qui consiste à un système de crédits négociables. La réglementation dans ce domaine est flexible mais parfois très contraignante, comme dans le système appliqué aux Etats Unis.

2.6 Développement durable en Algérie

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

En 2002, l'Observatoire National de l'environnement et du développement durable est créé.

En 2002 et 2003, des lois ont été établies pour la création de villes nouvelles respectueuses de l'environnement.

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

Des lois sur la régulation de la pêche et sur le tourisme propre ont également été promulguées.

Des lois concernant la production de l'énergie ont également été créées.

Récemment, un Plan National d'Action Environnementale et de Développement Durable a été mis en route par le Ministère des Ressources en Eau et de l'Environnement.

Environnement et ressources naturelles

3

Sommaire

3.1 Introduction.....	17
3.2 Ressources naturelles	17
3.2.1 Eau.....	18
3.2.2 Air.....	19
3.2.3 Sol	20
3.2.4 Minerais	21
3.2.4.1 Minerais destinés à produire des matériaux de construction	21
3.2.4.2 Minerais industriels	22
3.2.4.3 Minerais utilisés pour l'agriculture	22
3.2.4.4 Métaux	22
3.2.4.5 Métaux rares	23
3.3 Sources d'énergie	24
3.3.1 Energies fossiles	24
3.3.1.1 Charbon	25
3.3.1.2 Pétrole	26
3.3.1.3 Gaz naturel	28
3.3.1.4 Energie nucléaire	30
3.3.2 Energies renouvelables	33
3.3.2.1 Energie solaire	33
3.3.2.2 Energie éolienne	33
3.3.2.3 Energie hydraulique	34
3.3.2.4 Energie géothermique	35
3.3.2.5 Biomasse	36
3.4 Cogénération	37

3.1 Introduction

Le développement de l'humanité durant les 50 dernières années s'est accéléré d'une manière exponentielle, en entraînant une augmentation importante de la consommation d'énergie dans le monde, particulièrement dans les pays industrialisés. Les ressources en matière première ne cessent de diminuer, tandis que la demande en énergie ne cesse d'augmenter. A ce rythme, les ressources de la Terre s'épuiseront, ce qui posera un réel problème aux générations futures. Le développement technologique doit nécessairement tenir compte des ressources mondiales et s'y adapter.

3.2 Ressources naturelles

La Terre regorge de ressources naturelles que l'homme utilise soit directement, soit en tant que matière première pour produire de l'énergie ou d'autres produits de consommation.

Les ressources naturelles peuvent être définies comme les matières naturelles stockées dans la nature. Ce sont des matières utiles et dont les réserves sont limitées. Ces matières ne sont pas produites par l'homme. Elles existent naturellement. Les ressources naturelles sont importantes dans la fonction de production d'un pays, qui dépend du capital, du travail et des ressources naturelles.

Toutes les marchandises contiennent des ressources naturelles ou nécessitent des ressources naturelles pour être produites.

Les caractéristiques des ressources naturelles sont les suivantes :

- elles sont épuisables, c'est-à-dire limitées dans le temps,
- elles sont réparties entre les pays dans un même pays de manière inégale,
- elles peuvent parfois profiter à des personnes qui n'interviennent ni dans leur extraction, ni dans leur transformation,
- elles occupent une place prépondérante dans les marchés mondiaux, à un point tel que certains pays ne misent que sur elles dans leur économie.
- certains pays sont à la fois exportateurs et importateurs de ressources naturelles,
- leurs prix sont instables dans les marchés mondiaux. Ils peuvent fluctuer d'une manière très importante et dictent parfois la tendance économique mondiale,

- elles jouent un rôle géopolitique dans le monde.

Les principales ressources naturelles sont les suivantes :

3.2.1 Eau

L'eau représente la majeure partie de notre planète. Elle existe dans la nature sous différentes formes : les eaux souterraines, et les eaux de surface comme les rivières, les mers et les océans. Les nappes phréatiques qui sont des réserves très profondes au sous-sol qui mettent des centaines d'années à se constituer sont à l'origine des eaux souterraines.

Tableau 3.1. Constituants majeurs et caractéristiques des eaux naturelles non polluées (les concentrations sont en mg/L) [7].

Composant	Océans	Rivières	Pluie
Cl ⁻	19 000	5,8 - 7,8	0,2 – 0,6
Na ⁺	10 500	5,3 - 6,3	0,2 – 0,6
SO ₄ ²⁻	2 700	8,3 - 11	1,1 – 2,2
Mg ²⁺	1 350	3,4 - 4,1	0,3 – 1,5
Ca ²⁺	410	13,4 - 15	0,05 – 1,50
K ⁺	390	1,3 - 2,3	0,07 – 0,11
HCO ₃ ⁻	142	52 - 58	1 – 10
Br ⁻	0,67	< 20	< 0,15
Sr ²⁺	8	0,06 - 0,11	–
SiO ₂	6,4	10,4 - 13	0,1
B ³⁻	4,5	0,3	–
F ⁻	1,3	< 1	–
pH	8,2	6, 7,2 , 7,5	5,7
Dureté totale	–	10 – 200	–
Ammoniaque	–	0,05 – 0,5	–
Nitrates	–	0,1 – 2,0	–

Dans la Terre, l'eau peut être potable ou non. 97% de l'eau est salée. L'eau potable ne représente que 1% de l'eau présente sur terre. Les réserves en eau potable sont à préserver car elles s'amointrissent de plus en plus et sont difficiles à reconstituer, particulièrement dans les zones arides ou désertiques. La constitution et les caractéristiques des eaux non polluées sont présentées dans le tableau 3.1.

D'autre part, les cours d'eau, les mers et les océans contiennent de la faune et de la flore qui constituent une source d'alimentation non négligeable pour les humains. Des millions de personnes dans le monde se nourrissent et vivent de la pêche.

La distribution de l'utilisation de l'eau dans le monde se fait de la manière suivante :

- environ 20% de l'eau est utilisée dans le domaine de l'industrie,
- 70% de l'eau est utilisée dans le domaine de l'agriculture pour l'irrigation des terres,
- 8% à 10% de l'eau est d'usage domestique (boisson, cuisine, hygiène).

Plusieurs pays dans le monde souffrent de la sécheresse ou du manque d'eau. Des milliers de personnes meurent chaque année de maladies transmises par de l'eau impropre à la consommation.

3.2.2 Air

L'air est indispensable pour la vie de l'homme, des animaux et des plantes. C'est un mélange de gaz principalement constitué de dioxygène et d'azote. L'air non pollué n'existe malheureusement plus. Les scientifiques ont cependant pu connaître sa composition (tableau 3.2).

La qualité de l'air ne cesse de se dégrader particulièrement dans les zones urbaines et industrielles. Les mesures appliquées et la réglementation sévère de certains pays a cependant réussi à freiner ces augmentations de pollution, mais pas à les diminuer.

Tableau 3.2. Composition de l'air sec non pollué [7].

Composant	ppm (vol)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Azote	780 000	$8,95 \times 10^8$
Oxygène	209 400	$2,74 \times 10^8$
Eau	–	–
Argon	9 300	$1,52 \times 10^7$
Dioxyde de carbone	315	$5,67 \times 10^5$
Néon	18	$1,49 \times 10^4$
Hélium	5,2	$8,50 \times 10^2$
Méthane	1,0-1,2	$6,56-7,87 \times 10^2$
Krypton	1,0	$3,43 \times 10^3$
Oxyde nitreux	0,5	$9,00 \times 10^2$
Hydrogène	0,5	$4,13 \times 10^1$
Xénon	0,08	$4,29 \times 10^2$
Vapeurs organiques	~0,02	–

3.2.3 Sol

Le sol est la couche de sédiments qui recouvre la Terre. Le sol est un mélange de liquides, de solides et de gaz. La phase solide du sol est constituée de minéraux inorganiques dont les plus importants sont : le silicium, l'aluminium et le fer. Le sol contient aussi de la matière organique qui est le résultat de la décomposition des végétaux et des animaux. La phase liquide du sol est constituée d'eau. Cette eau contient des minéraux dissouts. La phase gazeuse est remplie de vapeur d'eau, d'air et de différents gaz qui se trouvent dans les pores du sol, là où il n'y a pas d'eau sous forme liquide.

La composition du sol dépend des régions et évolue dans le temps. Ces changements sont dus à l'érosion, aux produits chimiques dus à la pollution et aux déchets.

La forme et la taille des particules qui forment le sol varient de la terre fine, au sable et au gravier. La distance entre ces particules contrôle le taux d'absorption de l'eau par le sol.

La relation entre l'eau et le sol dépend de l'absorption du sol. Ainsi, il existe des sols arides insaturés, des sols intermédiaires et des sols saturés. Dans les sols non saturés, la force gravitationnelle s'ajoute à la force capillaire qui permet d'absorber l'eau. Dans les sols saturés, les vides microscopiques sont remplis d'eau. La pression de cette eau est supérieure à la pression atmosphérique.

3.2.4 Minerais

Les minerais sont les produits inorganiques qui se trouvent dans les profondeurs de la Terre. Le minerai est une roche dont on extrait un ou plusieurs éléments afin de les utiliser. Le tableau 3.3 donne les réserves mondiales de quelques minerais.

Tableau 3.3. Réserves mondiales de quelques ressources minérales.

Minerai	Nombre d'années de production à ce rythme
Sel	Production gigantesque non estimée
Kaolin	170
Fer	Plus de 100
Platine	200
Cuivre	35
Zinc, plomb, argent	20
Diamant	10

On distingue principalement cinq types de ressources minérales :

3.2.4.1 Minerais destinés à produire des matériaux de construction

Ce sont des minerais de carrière qui servent dans le domaine du bâtiment et des travaux publics, comme pour la fabrication du ciment et de l'asphalte. Certains peuvent être utilisés directement comme la pierre, le gravier, le sable ou l'ardoise. D'autres sont cuits et traités comme l'argile (pour la fabrication des tuiles et des briques), les roches calcaires (pour le ciment et la chaux) et le gypse (qui sert à fabriquer le plâtre).

Ces minerais sont souvent disponibles en grandes quantités mais leur extraction et leur transport sont coûteux. Il est donc avantageux de les extraire du lieu le plus proche de leur utilisation.

3.2.4.2 Minerais industriels

Ce sont des minerais utilisés pour leurs propriétés physico-chimiques comme la dureté, la couleur, la densité, les propriétés électriques ou la souplesse. Généralement, ces substances ne sont pas rares, mais la difficulté réside dans l'accessibilité de leurs gisements ainsi que dans leur pureté. Le problème de leur épuisement se pose moins que le problème du coût de leur exploitation.

Il existe plus de 80 minéraux différents de ce type dans le monde. Les plus utilisés sont les suivants :

- **sel** : utilisé dans l'industrie alimentaire et chimique,
- **kaolin** : pour produire le papier et la céramique ainsi que la faïence,
- **talc** : utilisé en pharmacologie et en cosmétique,
- **quartz** : utilisé dans le verre, les fibres de verre,
- **calcite** : pour le papier, le plastique, le caoutchouc,
- **diamant** : utilisé en joaillerie et pour fabriquer les outils de coupe.

3.2.4.3 Minerais utilisés pour l'agriculture

Ils sont utilisés pour l'exploitation de la terre agricole. Cette exploitation est nécessaire vu l'accroissement de la population mondiale et la réduction des espaces dédiés à l'agriculture. Ce type de minéraux est assez fréquent. Ce sont principalement :

- le phosphore : pour la fabrication des engrais. Il est très demandé mais son coût d'extraction peut devenir élevé avec le temps,
- l'azote : pour les engrais. Cependant, la fabrication de ces engrais azotés nécessite un grand apport d'énergie. Aussi, leurs prix au niveau mondial ne cessent d'augmenter,
- le potassium : qui rentre également dans la fabrication des engrais. Il existe dans l'eau de mer ainsi que dans des gisements sous forme de sel de potasse. Les meilleurs gisements sont situés près des zones de consommation.

3.2.4.4 Métaux

Les métaux sont des corps simples qui ont la propriété d'être de bons conducteurs de chaleur et d'électricité. Les métaux existent à toutes profondeurs de la Terre. La difficulté de

l'exploitation de leurs gisements se heurte aux problèmes géopolitiques. Les métaux présentent le grand avantage d'être recyclables. Ils peuvent être réutilisés ce qui présente un avantage écologique non négligeable. Ils rentrent dans un très grand nombre de domaines industriels grâce à leurs propriétés : ces domaines vont des objets quotidiens, à l'automobile et l'aéronautique, le matériel médical, les machines ...

L'exploitation des gisements se fait par extraction du métal, suivi de son traitement pour les transformer en lingots, en plaques ou en barres. L'exploitation est en général coûteuse.

Les métaux les plus utilisés sont les suivants :

- **fer** : 900 millions de tonnes de fer sont extraites chaque année de la terre sous forme d'oxydes de fer. Les exploitations sont très grandes et le fer est ensuite transformé en fonte, en acier ou en d'autres alliages très utilisés par la suite dans une multitude de domaines. Le fer et ses alliages sont massivement consommés particulièrement dans les pays en voie de développement, dans le domaine de la construction et des grands projets urbains et dans les usines,
- **aluminium** : il se trouve sous forme de bauxite dans les gisements. Il est ensuite extrait et traité. Très utilisé dans le domaine de l'aéronautique, 25 millions de tonnes par an en sont extraites,
- **cuivre** : le cuivre présente de très bonnes propriétés de conductivité électrique. 15 millions de tonnes de ce métal sont extraites chaque année. Le Chili en produit 30%, suivi des Etats Unis (12%) et de l'Indonésie (10%),
- **autres métaux** : comme le zinc, le plomb, l'étain ...

3.2.4.5 Métaux rares

Ils comprennent les terres rares et les métaux du groupe du platine comme l'or. Ils sont très utilisés dans la haute technologie, comme l'électronique et l'informatique et dans l'aérospatiale. Ils sont déterminants dans l'évolution de ces technologies, vu les progrès en matière de communication et d'électronique.

Les gisements de ces métaux sont rares. L'accès est parfois difficile vu les conditions géopolitiques et l'exploitation très coûteuse. La production des terres rares est passée de

moins de 30 000 tonnes en 1980 à plus de 120 000 tonnes en 2010. La production se concentre actuellement en Chine. Ce pays détient plus de 97% de la production mondiale et en consomme plus de 60%.

Ces métaux sont également très demandés dans les technologies vertes, comme pour la fabrication des éoliennes, des moteurs hybrides et des supraconducteurs.

3.3 Sources d'énergie

L'histoire de l'énergie montre l'importance de celle-ci dans la qualité de vie. Différentes sociétés ont été dépendantes du type d'énergie qu'elles utilisent et ont été contraintes à un moment ou un autre de changer ou de modifier leurs sources d'énergie. Avant, l'énergie était utilisée principalement pour préparer de la nourriture et pour se chauffer. Actuellement, elle est aussi utilisée pour produire de l'électricité et dans les transports pour faire fonctionner les moteurs à combustion interne. Elle est aussi utilisée dans le chauffage et la climatisation. L'humanité dépend totalement de l'énergie à l'heure actuelle.

Les sources d'énergie se divisent en deux types : les sources conventionnelles ou fossiles et les énergies renouvelables.

3.3.1 Energies fossiles

Les énergies conventionnelles restent la première source d'énergie dans le monde. La plupart de ces énergies sont produites à partir de sources fossiles. Les sources fossiles produisent de l'énergie par la combustion, ce qui les rend très polluantes. La conversion de cette énergie se fait dans des chaudières, des fours, des moteurs à combustion interne ou des turbines.

Le tableau 3.4 montre les réserves mondiales de sources d'énergie non conventionnelles et l'estimation du nombre d'années de production restantes.

Tableau 3.4. Réserves mondiales d'énergie non renouvelable par source en 2011.

	Réserves mondiales (%)	Nombre d'années de production à ce rythme
Pétrole	23%	58
Gaz naturel	18%	57
Charbon	56%	145
Uranium	3%	48

Le charbon reste la première source, suivi du pétrole et du gaz naturel.

3.3.1.1 Charbon

Le charbon est une roche sédimentaire formée par l'accumulation des matières organiques dérivées des plantes pendant des milliers d'années. Le charbon est constitué de matières volatiles qui sont le dioxyde de carbone ainsi que des espèces contenant du soufre et de l'azote. Il peut contenir aussi plus ou moins de l'humidité selon sa source. La teneur en carbone fixé représente la masse des résidus d'un échantillon après avoir enlevé les matières volatiles et l'eau. Elle contient principalement du carbone, ainsi que de l'hydrogène, de l'azote et du soufre en plus petites quantités.

Les différents types de charbon sont cités dans le tableau 3.5 avec leurs teneurs en carbone.

Tableau 3.5. Types de charbon avec leur teneur en carbone.

Nomenclature	% de carbone C
Tourbe	55
Lignite	70-75
Houille	85
Anthracite	92- 95

Le pouvoir calorifique du charbon est l'énergie dégagée par une unité de masse d'un échantillon de charbon. Il est donné en kJ/kg par la formule suivante :

$$33,8 C + 62,028 [H - (O/8)] + 9,4 S \quad (3.1)$$

C , H , O et S sont respectivement les fractions massiques de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et de soufre dans le charbon.

La teneur en cendres des matières de combustion du charbon est elle aussi une propriété importante.

3.3.1.2 Pétrole

Le pétrole est actuellement l'une des premières sources d'énergie dans le monde. Il rentre dans la composition d'un grand nombre de produits. Le pétrole provient de l'accumulation de bactéries et d'algues restées plus de 15 millions d'années dans les profondeurs de la terre, qui se transforment en molécules d'hydrocarbures. Après raffinage, le pétrole est utilisé pour la fabrication de dizaines de produits :

- essences pour les moteurs à allumage commandé,
- gasoil pour les moteurs Diesel,
- carburants pour les avions militaires et civiles,
- kérosène,
- produits de la pétrochimie, comme le plastique,
- naphta,
- lubrifiants, utilisés pour réduire les frottements entre les pièces des machines, mais aussi dans le forage. Ils existent en plusieurs types suivant leur viscosité et peuvent être produits directement après raffinage ou en utilisant les résidus du pétrole,
- cires, qui sont des matériaux solides ou semi-solides produits à partir du raffinage ou des résidus du pétrole,
- asphalte, bitume, goudron, utilisés pour construire les routes,
- GPL (Gaz du Pétrole Liquéfié) qui constitue un carburant moins polluant que les carburants conventionnels, utilisé dans le domaine automobile,
- quelques gaz légers qui servent comme combustibles dans le processus de raffinage du pétrole.

La production du pétrole est mesurée en baril ou Brent. Un baril contient 158,98 L. L'OPEC (Organization of Petroleum Exporting Countries) fixe globalement les prix du pétrole dans le monde. Le tableau 3.6 contient le classement des 15 premières réserves mondiales en pétrole.

Tableau 3.6. Classement des réserves mondiales conventionnelles en pétrole(Source : OPEC, 1^e janvier 2013)

	Pays	Réserve en barils	% de la réserve mondiale
1	Venezuela	297 735 000 000	24,80
2	Arabie saoudite	265 850 000 000	22,10 %
3	Iran	157 300 000 000	13,10 %
4	Irak	140 300 000 000	11,70 %
5	Koweït	101 500 000 000	8,50 %
6	Émirats arabes unis	97 800 000 000	8,10 %
7	Russie	80 000 000 000	5,41 %
8	Libye	48 500 000 000	4,00 %
9	Nigeria	37 100 000 000	3,10 %
10	Kazakhstan	30 000 000 000	2,20 %
11	Chine	25 584 000 000	1,73 %
12	Qatar	25 244 000 000	1,70 %
13	États-Unis	23 267 000 000	1,57 %
14	Brésil	13 154 000 000	0,88 %
15	Algérie	12 200 000 000	0,82 %

3.3.1.3 Gaz naturel

Le gaz naturel est un mélange de gaz à forte prépondérance du méthane CH_4 (jusqu'à 99%), avec de l'éthane C_2H_6 et du propane C_3H_8 . Il contient aussi de l'azote, du dioxyde de carbone et du H_2S et des composés oxygénés comme les phénols et les alcools.

La consommation du gaz naturelle augmente car il se substitue au pétrole. Les produits dérivés du gaz naturel sont principalement l'hydrogène, l'hélium, le méthanol ainsi que certains composés soufrés.

Le gaz naturel peut être liquéfié à très basse température jusqu'à atteindre l'état liquide. Il est ensuite transporté dans des pipes ou dans des méthaniers.

Le classement des réserves mondiales conventionnelles des 15 premiers pays est dans le tableau 3.7.

Tableau 3.7. Classement des réserves mondiales prouvées de gaz naturel

(Source : CIA World Factbook, 2012)

	Pays	Réserves prouvées en m³	% de la réserve mondiale
1	Russie	47 570 000 000 000	22,82 %
2	Iran	33 070 000 000 000	15,86 %
3	Qatar	24 300 000 000 000	11,66 %
4	Turkménistan	24 300 000 000 000	11,66 %
5	Arabie saoudite	8 028 000 000 000	3,84 %
6	Etats-Unis	7 716 000 000 000	3,69 %
7	Émirats arabes unis	6 089 000 000 000	2,91 %
8	Venezuela	5 224 000 000 000	2,49 %
9	Nigeria	5 110 000 000 000	2,45 %
10	Algérie	4 502 000 000 000	2,16 %
11	Indonésie	3 994 000 000 000	1,91 %
12	Chine	3 200 000 000 000	1,53 %
13	Irak	3 171 000 000 000	1,52 %
14	Kazakhstan	2 407 000 000 000	1,51 %
15	Malaisie	2 350 000 000 000	1,12 %

3.3.1.4 Energie nucléaire

L'énergie nucléaire est produite par la fission d'éléments radioactifs naturels comme l'uranium et le thorium. L'uranium peut être soumis à la fission dès son extraction à l'état naturel, tandis que le thorium doit d'abord être converti dans un réacteur nucléaire. Tous les isotopes de ces éléments sont radioactifs. L'uranium contient 99,2175% de ^{238}U , 0,72% de ^{235}U et 0,0055% de ^{234}U . L'uranium brut qui existe sous forme d'oxyde d'uranium U_3O_8 de couleur jaune est traité pour récupérer l'uranium pur. 1 tonne d'uranium brut donne 1 à 2kg d'uranium pur. Le reste est constitué de radon et d'autres produits qui doivent être traités en tant que déchets nucléaires.

La dénomination de combustible nucléaire est en réalité impropre puisque l'énergie produite dans un réacteur nucléaire ne provient pas d'une réaction de combustion. En effet, la source d'énergie utilisée est le phénomène de fission nucléaire qui génère une réaction en chaîne.

Les noyaux fissibles les plus importants sont l'uranium 235, présent dans l'uranium naturel, et les deux noyaux artificiels uranium 233 et plutonium 239.

L'uranium extrait est converti en UF_6 puis enrichi avec de l'uranium 235 pour être transformé en combustible. Ce combustible est ensuite placé dans un réacteur, il subit une fission et est transformé en plutonium. Ce dernier est redirigé vers le réacteur après conversion. A la fin du cycle de vie de l'uranium, il devient sous forme de déchets. Les déchets nucléaires sont stockés de manière permanente.

Le cycle du combustible comprend donc essentiellement les opérations suivantes :

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

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

L'Uranium est utilisé dans plusieurs domaines :

- 99,8% est utilisé en tant que source d'énergie dans les centrales nucléaires pour produire de l'électricité et dans les sous-marins nucléaires,
- 0,2% est utilisé dans la médecine, l'armement et la chimie.

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

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

L'énergie nucléaire est très intéressante du point de vue de son rendement important. Cependant, elle est très contraignante vu les mesures de sécurité draconiennes qui doivent être prises à tous les niveaux, à partir des mines jusqu'à la gestion des déchets, en passant par l'exploitation. Le tableau 3.8 montre les types d'accidents qui peuvent survenir.

Tableau 3.8. Echelle internationale des incidents nucléaires

(Source : International Atomic Energy Agency).

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

3.3.2 Energies renouvelables

Les énergies conventionnelles étant d'origine fossile, leurs réserves sont épuisables à court ou à long terme. D'autre part, elles produisent beaucoup de pollution et sont à l'origine de l'effet de serre qui entraîne le réchauffement climatique. Il est donc nécessaire du point de vue écologique et économique de trouver des énergies de remplacement. Ces énergies sont appelées énergies renouvelables, car d'une part, leurs sources sont inépuisables, et d'autre part, elles polluent beaucoup moins que les énergies conventionnelles.

3.3.2.1 Energie solaire

Le soleil représente une puissance nucléaire très grande qui est générée sous forme de rayonnement d'une puissance de $3,8 \times 10^{23}$ kW. Une petite partie de cette puissance atteint la surface de la Terre. Le rayonnement du soleil sur une surface est donné par l'expression :

$$I_s = I_0 e^{-\tau \sec \theta_z} \quad (3.2)$$

I_0 est le rayonnement extraterrestre du soleil, τ la profondeur optique de l'atmosphère et θ_z l'angle du zénith ou l'angle que font les rayons du soleil avec la verticale. Pour tenir compte des conditions d'ensoleillement locales, l'équation précédente est modifiée par le coefficient d'éclairement C dont la valeur est comprise entre 0,85 et 1,15 :

$$I_s = C I_0 e^{-\tau \sec \theta_z} \quad (3.3)$$

L'énergie solaire est captée et utilisée soit par des panneaux photovoltaïques, soit par des miroirs CSP. Cette dernière est une technologie récente et moins coûteuse que la première. Son entretien est très simple. Elle utilise des miroirs en forme de paraboles, qui concentrent les rayons du soleil et les réfléchissent dans des tubes qui passent par le foyer des paraboles. Cette énergie sert ensuite à produire de la chaleur et de l'électricité.

3.3.2.2 Energie éolienne

L'énergie éolienne permet de convertir l'énergie cinétique du vent en puissance qui sert à produire de l'électricité, par exemple. Ce type d'énergie est très ancien et fait partie des premières énergies utilisées par l'homme. Cette technique est très écologique, mais son coût reste parfois élevé. L'énergie cinétique du vent génère une puissance W qui est égale à :

$$W = \frac{1}{2} \rho S v^3 \quad (3.4)$$

ρ est la masse volumique de l'air, v la vitesse du vent et S la surface exposée. La vitesse du vent est parfois faible, ce qui diminue la puissance de l'éolienne.

Le rendement d'une éolienne dépend fortement du site dans lequel elle est placée. Les sites les plus exposés au vent sont ceux qui sont situés aux sommets des montagnes, au bord de la mer ou au milieu des océans.

Les éoliennes génèrent beaucoup de bruit. Des recherches actuelles dans ce domaine tendent à réduire les nuisances sonores de ces machines.

Les éoliennes sont dotées de systèmes annexes qui permettent de stocker l'énergie.

3.3.2.3 Energie hydraulique

L'énergie hydraulique est actuellement de loin la première source de production d'électricité dans le monde. La plupart du temps, l'électricité est générée à partir de l'eau des barrages. L'eau chute d'une hauteur importante et l'énergie cinétique qu'elle génère sert à faire fonctionner des turbines et des générateurs qui transforment cette énergie en énergie électrique. La turbine fait tourner le rotor du générateur, qui produit un champ magnétique à l'intérieur du stator qui n'est autre qu'une bobine géante qui produit de l'électricité. L'énergie mécanique est ainsi transformée en énergie électrique. Ce système de production d'électricité à partir de l'eau est le plus répandu dans le monde. Le tableau 3.9 montre la taille et la capacité des centrales électriques hydrauliques.

Tableau 3.9. Catégories et capacité de production des centrales hydrauliques [8].

Type	Capacité de production de l'énergie électrique
	(MW)
Micro	< 0,1
Petite	0,1 – 30
Grande	>30

Il existe une autre technique qui est moins répandue mais qui est utilisée dans les pays attenants aux océans. Il s'agit de la production d'électricité à partir de l'énergie des vagues. Comme dans les centrales hydrauliques, l'énergie potentielle de l'eau est transformée en énergie électrique. Les vagues sont sinusoïdales avec des sommets et des dépressions. L'amplitude des vagues dépend de la météo : elle est plus importante quand il y a du vent ou une tempête. Le mouvement des vagues est converti en énergie mécanique qui fait tourner un générateur électrique. L'énergie des vagues est captée au moyen de flotteurs ou d'aubes qui la transmettent aux rotors des générateurs électriques. L'énergie peut aussi provenir des marées.

L'énergie hydraulique est peu coûteuse. Seuls les dispositifs de conversion d'énergie nécessitent un investissement. De plus, c'est une énergie propre qui ne produit pas d'émissions polluantes.

3.3.2.4 Energie géothermique

La géothermie est l'utilisation de la chaleur de la Terre pour produire de l'énergie. Cette énergie sert à produire de l'électricité mais aussi au chauffage urbain, au chauffage des serres et dans la pisciculture. La chaleur de la Terre provient de la désintégration des éléments radioactifs présents dans les roches qui constituent la croûte de la Terre, et de la dissipation de la chaleur primitive.

Un gisement géothermique est constitué de trois éléments :

- une source de chaleur,
- un réservoir, qui est une formation rocheuse dans laquelle circule le fluide,
- un fluide : sous forme de liquide, de vapeur ou d'un mélange des deux. C'est le plus souvent de l'eau réchauffée par le contact des roches.

Les gisements géothermiques peuvent être géologiquement stables, ou actifs. La répartition de ces gisements est la suivante : 35% existent en Asie, 29% en Amérique, 26% en Europe et 5% en Afrique. Le tiers de ces gisements produit de l'électricité et les deux tiers de la chaleur pour le chauffage.

Quand elles sont installées en respectant rigoureusement la réglementation, les centrales géothermiques ont des avantages environnementaux indéniables sur les énergies

conventionnelles. Elles ne produisent pas de gaz à effet de serre. Mais leur substitution aux énergies fossiles reste impossible dans l'ensemble.

3.3.2.5 Biomasse

La production de l'énergie à partir de la biomasse englobe un ensemble de techniques qui utilisent les plantes et les matières organiques pour produire de l'énergie. Ces matières sont utilisées soit directement comme combustibles, soit pour générer de l'électricité. La biomasse a plusieurs sources. Elle peut être sous forme de bois produit à partir de forêts, de déchets agricoles, de déchets des eaux usées ou de l'industrie. Les avantages de l'utilisation de la biomasse sont les suivants :

- cette source d'énergie a le grand avantage de ne presque pas polluer,
- elle a aussi l'avantage d'être économique, dans la mesure où elle utilise des matières de récupération, elle ne coûte pas cher,
- elle a un grand choix de sources,
- elle permet de se débarrasser des déchets d'une manière écologique au lieu de les stocker.

La biomasse dans l'état de matière première peut être très propre comme elle peut être contaminée par du fer, des résidus animaliers ou des déchets comme le plastique. Le tableau 3.10 contient la composition et les propriétés de certains combustibles biomasse.

Tableau 3.10. Propriétés de quatre types de biomasse [9].

Propriétés	Copeaux de pin	Déchets d'herbes	Enveloppes de riz	Paille de riz
% de cendre	1,43	10,10	18,34	15,90
Carbone	48,54	47,79	40,96	41,78
Hydrogène	5,85	5,76	4,30	4,63
Azote	0,47	1,17	0,40	0,70
Soufre	0,01	0,10	0,02	0,08
Oxygène	43,69	35,07	35,86	36,57
Pouvoir calorifique (GJ/t)	19,38	17,99	16,14	16,28

L'usage de loin le plus fréquent de la biomasse consiste à l'utiliser directement comme combustible, pour récupérer la chaleur afin de faire fonctionner les chaudières. Cette technique requiert une longue préparation, un nettoyage et aussi une déshydratation du combustible biomasse.

Une autre technique consiste à faire fermenter la biomasse dans des digesteurs en additionnant des bactéries qui facilitent l'opération. Le biogaz est ainsi produit. C'est un gaz constitué de méthane, de dioxyde de carbone et d'autres composants volatils. En général, son pouvoir calorifique est faible et sa composition dépend de la matière première dont il provient.

3.4 Cogénération

La cogénération est un système qui produit deux types d'énergie : la chaleur et l'électricité. Il permet de récupérer l'excédent de chaleur pour le chauffage par exemple, au lieu de le gaspiller. Pour cela, on brûle un combustible primaire qui peut être d'origine fossile, comme le charbon ou le gaz naturel, mais aussi de la biomasse, ce qui réduit considérablement les émissions polluantes.

Les objectifs de la cogénération sont les suivants :

- la réduction des émissions polluantes,
- l'autonomie énergétique,
- le gain économique,
- la récupération de la chaleur gratuite,
- la récupération des déchets,

Cependant, le coût initial de cette technologie est élevé.

La cogénération sert à faire fonctionner les moteurs et les turbines. Un intérêt grandissant pour cette technologie écologique permet actuellement de la mettre en œuvre dans de petites et moyennes exploitations.

Substances polluantes

Sommaire

4.1 Introduction.....	39
4.2 Effets globaux de la pollution	39
4.3 Polluants atmosphériques	39
4.3.1 Composés carbonés.....	41
4.3.2 Composés azotés	41
4.3.3 Composés soufrés	42
4.3.4 Composés organiques	42
4.3.5 Métaux lourds	42
4.3.6 Particules	43
4.3.7 Chlorofluorocarbones (CFC)	43
4.3.8 Dioxines et furannes	44
4.3.9 Unités de mesure des polluants atmosphériques	44
4.4 Polluants de l'eau	45
4.5 Ozone	47
4.5.1 Ozone stratosphérique	47
4.5.2 Ozone troposphérique	48
4.6 Impacts de la pollution	49
4.6.1 Effet de serre et réchauffement climatique	49
4.6.2 Pluies acides	49
4.6.3 Smog	50
4.6.4 Eutrophisation	51

4.1 Introduction

Un polluant est une substance liquide, solide ou gazeuse, qui se trouve dans un environnement dans lequel elle ne devrait pas exister, ou qui est présente dans son environnement habituel mais à un taux anormalement élevé, pouvant ainsi avoir un effet nocif, provoquer une nuisance ou une gêne.

Les polluants représentent un déséquilibre dans la composition d'un milieu. Ils reflètent une instabilité anormale.

Les polluants peuvent être classés en polluants atmosphériques, polluants de l'eau et polluants du sol.

4.2 Effets globaux de la pollution

Les effets globaux de la pollution se résument dans ce qui suit :

- **effets sur la santé** : mort, maladies respiratoires, cancers. Ces effets concernent les humains et les animaux,
- **effets sur l'environnement naturel** : destruction de la biodiversité, restriction des forêts et des cours d'eau avec la faune et la flore qu'ils contiennent,
- **effets sur l'agriculture** : destruction des terres agricoles, restriction des activités comme la pêche,
- **effets sur l'environnement construit par l'homme** : attaque des bâtiments, des monuments historiques, bruit, odeurs,
- **effets sur l'atmosphère** : réduction de la clarté et de la visibilité de l'atmosphère, phénomènes destructeurs comme le smog ou les pluies acides.

4.3 Polluants atmosphériques

Les polluants atmosphériques sont les polluants de l'air sous forme de gaz (ou de fumées et vapeurs) ou de particules. Ils sont classés en :

- **polluants primaires** : substances polluantes émises directement de la source dans l'atmosphère,

- **polluants secondaires** : ils ne sont pas directement émis des sources mais sont formés dans l'atmosphère à partir des polluants primaires, qui sont alors appelés « précurseurs ».

Il est à noter qu'un polluant peut être à la fois primaire et secondaire.

Les principales causes de la pollution atmosphérique sont soit naturelles comme :

- les éruptions volcaniques,
- les feux naturels à grande échelle.

soit liées à l'activité humaine comme :

- la production de l'énergie thermique : au niveau domestique ou industriel,
- combustion des combustibles fossiles,
- industrie : en raison de ses besoins propres en énergie ou à cause des émissions spécifiques dues aux processus de fabrication ou aux traitements spécifiques,
- transports : terrestre, aérien et naval. C'est la première cause de pollution mobile et de proximité,
- traitement des déchets : décomposition des déchets, incinération,
- activités agricoles : engrais, décomposition des matières organiques,

Les mécanismes de la formation de la pollution atmosphérique sont les suivants :

- **émissions** : les polluants sont émis dans l'atmosphère à partir des différentes sources,
- **réactions chimiques** : ces réactions ont lieu dans l'atmosphère et créent, modifient ou détruisent les polluants,
- **transport et dispersion** : les conditions climatiques comme le vent ou la pluie transportent les polluants atmosphériques loin des sources,
- **déposition** : sur la surface de la Terre par la pluie par exemple.

Les facteurs qui influencent la pollution atmosphérique sont la quantité des polluants émis par les sources ainsi que les conditions climatiques. La vitesse du vent a une influence sur la concentration et la diffusion des polluants. L'ensoleillement peut provoquer des réactions photochimiques qui produisent des polluants secondaires. La température inverse qui consiste à la création de zones de blocage empêche la diffusion des polluants.

Les principaux polluants atmosphériques sont les suivants :

4.3.1 Composés carbonés

Ce sont le monoxyde de carbone CO et le dioxyde de carbone CO₂.

Le monoxyde de carbone CO est un gaz inodore et incolore qui est toxique car il bloque l'hémoglobine. Il entraîne des vertiges, nausées et pertes de connaissance qui peuvent entraîner la mort. L'émission du CO est le résultat de toute combustion d'un carburant contenant du carbone qui se déroule avec une quantité insuffisante d'air. Il se forme suivant la réaction :



Le fonctionnement normal d'un moteur à essence émet une grande quantité de CO. Les foyers industriels comme les fours n'émettent pas beaucoup de CO. Si la combustion se déroule avec une quantité suffisante ou un excès d'air, tout le CO se transforme en CO₂.

Le CO₂ est un gaz à effet de serre qui est l'un des premiers responsables du réchauffement climatique. C'est un produit « normal » de la combustion. Il provoque l'étouffement.

4.3.2 Composés azotés

Ce sont les oxydes d'azote NO et NO₂ généralement désignés sous le nom de NO_x ainsi que N₂O et l'ammoniaque NH₃.

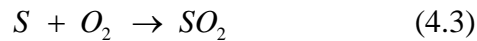
Le NO provient de la combustion. Les réactions qui mènent à sa formation sont complexes mais la plus simple d'entre elles est la suivante :



Ces réactions se déroulent à température élevée. C'est un gaz qui n'est pas très nocif mais il est le précurseur de NO₂ qui est beaucoup plus dangereux : c'est un puissant irritant des voies respiratoires qui provoque la détresse respiratoire et des œdèmes pulmonaires.

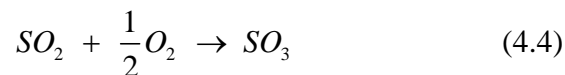
4.3.3 Composés soufrés

Ce sont des oxydes de soufre SO_2 et SO_3 et plus rarement H_2S . L'anhydride sulfureux SO_2 est produit par la combustion suivant la réaction :



Le SO_2 se forme lors de la combustion des carburants soufrés comme le gazole, lors du raffinage du pétrole et lors de la fusion des métaux. Il diminue l'immunité et peut agir sur le système respiratoire. En plus de sa toxicité, il provoque les pluies acides.

Il est aussi le précurseur du SO_3 :



4.3.4 Composés organiques

Ils sont volatils ou aromatiques, ou encore carbonylés ou carboxyles :

- Les hydrocarbures aromatiques comme le benzène contenu dans l'essence produisent des leucémies, des troubles du système nerveux et hépatique.
- Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques HAP modifient les gènes et provoquent des cancers.
- Les aldéhydes et formaldéhydes sont irritants et intoxiquent les gènes.
- Les hydrocarbures imbrulés ou HC imbrulés sont des carburants qui n'ont pas eu le temps de brûler dans les moteurs. Les moteurs à essence sont de grands émetteurs de HC imbrulés.

4.3.5 Métaux lourds

Ils résultent de l'incinération des déchets ou du carburant. Ce sont des métaux comme le plomb contenu dans certaines essences, le zinc des lubrifiants, le cadmium. Ils attaquent le système nerveux. Le plomb provoque le saturnisme. Ils peuvent se fixer à long terme dans les os et provoquer des maladies.

4.3.6 Particules

Les particules sont de la poussière solide ou liquide. Elles sont caractérisées par plusieurs groupes :

- particules dont le diamètre est inférieur à 100 μm : elles sont dites inhalables car elles rentrent dans la bouche et le nez,
- particules dont le diamètre est inférieur à 10 μm : elles sont dites particules fines, car elles rentrent profondément dans le système respiratoire,
- particules dont le diamètre est inférieur à 4 μm : elles sont dites respirables car absorbées par le système respiratoire et le sang,
- particules dont le diamètre est inférieur à 0,1 μm : elles sont appelées ultrafines.

Le moteur Diesel produit beaucoup de particules. En plus d'être nocives pour la santé, elles se déposent sur les bâtiments et monuments et les abiment.

4.3.7 Chlorofluorocarbones (CFC)

Le chlore présent dans l'atmosphère provient principalement des chlorofluorocarbones ou CFC. En 1928 Thomas Midgely a fabriqué une nouvelle espèce chimique appelée CFC-12 (dichlorodifluorométhane), pour remplacer les produits réfrigérants hautement toxiques et inflammables tels que l'ammoniac. Il a prouvé que le CFC-12 n'était ni toxique, ni inflammable et avait les propriétés thermiques d'un excellent réfrigérant. En 1930, Dupont et General Motors ont commencé à commercialiser les CFC sous le nom du Fréon. D'autres CFC ont été par la suite produits en grandes quantités. Ils ont été utilisés en tant que réfrigérants et propulseurs dans les sprays d'aérosols.

Les CFC se composent de fluor, de carbone et de chlore. Les formules chimiques de quelques CFC sont données dans le tableau 4.1. Ils ne sont ni solubles dans l'eau ni réactifs. Cette stabilité fait qu'ils ne peuvent être détruits que par des radiations UV hautement énergétiques. Leur utilisation par l'homme entraîne leur présence dans l'atmosphère, ils sont en effet bien mélangés à la troposphère dès la première année de leur émission. Les CFC atteignent la stratosphère à travers la région tropicale de la troposphère, ils sont alors lentement transportés vers la partie supérieure de la stratosphère où ils sont détruits par les radiations UV du Soleil, c'est pour cela que leur concentration est faible dans les hautes altitudes.

Tableau 4.1. Durée de vie et formules chimiques des CFC

Nom	Formule chimique	Durée de vie
CFC-11	CFCl_3	50 ans
CFC-12	CF_2Cl_2	100 ans
CFC-113	$\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$	85 ans
CFC-114	$\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$	300 ans

Une molécule de CFC peut mettre environ une année pour atteindre la région supérieure de la stratosphère à partir de la région tropicale de la troposphère. Cependant, la grande partie de l'air subit une recirculation avant d'arriver à la partie supérieure de la stratosphère, chose qui ralentit la circulation des CFC et réduit le nombre de molécules qui atteint la partie supérieure de la stratosphère. Il est en effet estimé que le temps que met le CFC-12 pour être réduit à 63% est approximativement 120 ans.

4.3.8 Dioxines et furannes

Les dioxines sont des molécules de polychlorodibenzodioxine (ou PCDD) et polychlorodibenzofuranne (ou PCDF). Elles ont été décelées en 1977 dans les incinérateurs. Les dioxines proviennent des phénomènes naturels comme les éruptions volcaniques ou les incendies de forêts. Elles proviennent surtout de la combustion, des huiles usagées ou apparaissent au cours du refroidissement des gaz de combustion lors du processus d'incinération des déchets. Ce sont des polluants organiques persistants dans l'environnement. Elles peuvent être stockées dans les graisses animales et entrent ainsi dans la chaîne alimentaire. Ces espèces sont dangereuses pour la santé : elles diminuent l'immunité provoquent des lésions dermiques et des cancers.

4.3.9 Unités de mesure des polluants atmosphériques

Les deux unités utilisées pour exprimer la quantité des polluants atmosphériques sont :

- **ppm ou particule par million** : c'est une unité de référence. La concentration en ppm par unité de volume est donnée par la formule suivante :

$$C_{ppm} = \frac{C_i}{C_{air}} \times 10^6 \quad (4.5)$$

C_{ppm} est la concentration en ppm par unité de volume,

C_i est la concentration de l'espèce i en moles par unité de volume,

C_{air} est la concentration de l'air en moles par unité de volume.

- **Micro gramme par unité de volume** : la concentration en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ est donnée par la formule suivante :

$$m_i = C_i \times M_i \times 10^6 \quad (4.6)$$

m_i est la concentration en $\mu\text{g}/\text{m}^3$,

C_i est la concentration de l'espèce i en moles par unité de volume,

M_i est la masse molaire de l'espèce i .

La conversion du $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en ppm se fait par la formule suivante :

$$C_i = \frac{RT}{M_i P} \times m_i \quad (4.7)$$

R est la constante des gaz parfaits, P la pression en Pa et T la température en K.

4.4 Polluants de l'eau

L'utilisation de l'eau, quelle qu'elle soit, produit de la pollution. Polluer l'eau est modifier sa composition et ses caractéristiques physico-chimiques en y ajoutant des produits solubles ou insolubles. Ceci entraîne la perturbation de l'équilibre biologique et empêche l'utilisation de l'eau pour la consommation. Les rejets industriels en eau sont les eaux qui sont rejetées par les usines après avoir contribué au processus de fabrication. Ces eaux appartiennent à différentes catégories :

- **eaux de fabrication** : ces eaux contribuent à la fabrication des différents produits. Elles sont en contact avec des solides, des liquides et des gaz et deviennent ainsi chargées de produits toxiques. Les rejets de ces eaux sont continus ou discontinus,
- **rejets des circuits de refroidissement** : ces eaux ne sont en général pas polluées et peuvent être recyclées. Les rejets de purge des circuits de refroidissement sont par contre très minéralisées,
- **eaux de lavage et de nettoyage** : elles sont abondantes et chargées de détergents ou d'hydrocarbures,

- **eaux usées** : elles contiennent des matières organiques biodégradables, de la graisse quand il s'agit des eaux des cantines. Elles peuvent être traitées et recyclées. Les boues de stations d'épuration sont utilisées pour la fabrication du biogaz.
- **rejets accidentels** : ils sont ponctuels et parfois très polluants.

Les types de pollution de l'eau sont les suivants :

- **pollution insoluble** : de particules ou de liquide insoluble qui provoque le changement de couleur, la nuisance à l'appareil respiratoire des poissons et rend l'eau opaque aux rayons du soleil ce qui nuit aux plantes en empêchant la photosynthèse,
- **pollution toxique** : les produits toxiques sont nombreux : les produits minéraux comme les métaux lourds, les acides et les bases, et les produits organiques,
- **pollution organique** : rejets des eaux usées et des eaux de l'industrie agroalimentaire. Elles ne sont pas toxiques en elles-mêmes mais favorisent la prolifération des bactéries lors de leur décomposition,
- **pollution azotée et phosphorée** : résultat du déversement des engrais et des produits de cokerie, d'industrie agroalimentaire et des laveries industrielles. Les composés azotés et phosphorés perturbent l'équilibre biologique du milieu aquatique, et rendent l'eau impropre à la consommation,
- **pollution radioactive** : c'est le rejet de produits radioactifs dans l'eau à proximité des centrales nucléaires,
- **pollution thermique** : elle consiste à rejeter des eaux à des températures élevées, en sachant que les poissons ne résistent pas à une température supérieure à 35°C.

Le prélèvement et l'échantillonnage sont nécessaires pour contrôler la qualité de l'eau et pour connaître le niveau de pollution. Le traitement des eaux avant rejet est préconisé dans toutes les activités industrielles.

4.5 Ozone

L'ozone est une molécule formée de trois atomes d'oxygène, sa formule chimique est donc O_3 . Environ 90% de l'ozone de l'atmosphère est contenu dans la stratosphère, les 10% restants existent dans la troposphère. Les différents instruments de mesure montrent que la concentration de l'ozone est la plus élevée entre 15 et 30 km de la surface de la Terre. Etant donné que la plus grande partie de l'ozone est contenue dans la stratosphère, on appelle cette région la couche stratosphérique d'ozone.

Il existe en effet deux « types d'ozone » selon l'endroit où il se trouve : l'ozone stratosphérique qui se trouve dans les hautes zones de l'atmosphère et forme la couche d'ozone est bénéfique. Il très important pour la vie sur Terre car son rôle est d'absorber les radiations nocives de l'ultra violet qui proviennent du Soleil. L'ozone formé sur la surface de la Terre qui s'appelle ozone troposphérique est par contre un polluant.

4.5.1 Ozone stratosphérique

La stratosphère est une couche de l'atmosphère qui s'étend entre la tropopause et 47 km d'altitude. La température s'accroît lentement dans cette partie de l'atmosphère

Le Soleil émet différents types de rayonnements dont la majeure partie est située dans le domaine visible du spectre électromagnétique dans lequel les longueurs d'onde varient de 400 à 700 nm. Cependant, il produit aussi des rayonnements appartenant au domaine spectral de l'ultra violet dont la longueur d'onde se situe entre 1 et 400 nm. Ces rayons UV détruisent les molécules d'ADN qui contiennent le code génétique et par conséquent endommagent les cellules ou provoquent encore le développement de formes dangereuses du cancer de la peau. La couche d'ozone a pour rôle d'absorber les rayons UV et donc de réduire considérablement leur présence dans l'environnement immédiat de la Terre.

Dès que le chlore est libéré des CFC par les rayons UV, il peut jouer le rôle de catalyseur dans la destruction de l'ozone. En effet, les atomes Cl réagissent avec le méthane pour former du HCl, qui peut servir à transformer les CFC qui sont non réactifs, à des atomes réactifs de chlore. Ceci montre bien l'ampleur de la destruction de l'ozone par les CFC.

La concentration du HCl est faible dans la partie inférieure de la stratosphère tandis qu'elle augmente sensiblement dans sa partie supérieure. En fait, il a été remarqué une hausse de cette

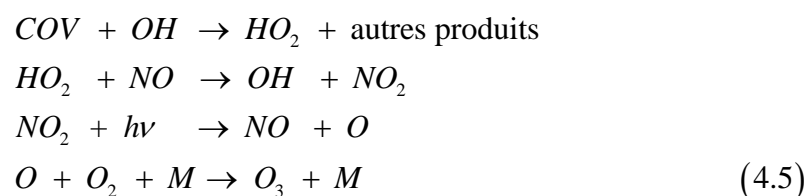
concentration dès le début des années 1990, ceci va de paire avec les quantités de CFC que rejette l'homme.

La destruction de l'ozone peut aussi se faire dans des cycles qui impliquent la présence d'espèces chimiques contenant de l'azote sous forme réactive des NO_x . Les NO_x trouvent leurs origines dans la troposphère. Environ 90% du NO_x stratosphérique provient du N_2O de la troposphère. Il se dissocie en produisant un radical libre : l'oxygène O.

D'autres espèces chimiques détruisent aussi l'ozone, comme le méthane, le chlore et le brome.

4.5.2 Ozone troposphérique

La troposphère est située entre la surface de la Terre et l'altitude de 11 km environ. C'est une région caractérisée par la diminution de la température avec l'altitude. L'ozone troposphérique se trouve donc dans les régions immédiates de la surface de la Terre. C'est un polluant secondaire pernicieux qui est toxique pour les humains et les plantes. Il est formé par oxydation des composés organiques volatiles et du CO en présence des NO_x suivant le schéma simplifié suivant :



Les NO_x et OH jouent le rôle de catalyseurs, c'est-à-dire qu'ils accélèrent la formation de l'ozone sans être consommés. Ces réactions sont photochimiques, c'est-à-dire qu'elles ont besoin de rayons UV pour avoir lieu. C'est pour cela que la pollution d'ozone connaît des pics dans les villes (présence d'émissions des moteurs) quand il fait chaud ou en présence d'humidité.

L'ozone troposphérique provoque l'irritation des yeux, des voies aériennes supérieures, toux, maux de tête, difficultés respiratoires dues au caractère très oxydant de l'ozone. Il est particulièrement dangereux pour les populations à risque.

4.6 Impacts de la pollution

La pollution produit des phénomènes nocifs et destructeurs pour l'environnement, la santé et la vie en général. C'est le résultat de ces phénomènes qui a poussé les humains à prendre la pollution au sérieux et à préserver l'environnement.

4.6.1 Effet de serre et réchauffement climatique

La pollution entraîne un changement climatique. Ce phénomène est bien connu et prouvé par les scientifiques depuis longtemps. Il résulte du déséquilibre entre l'énergie sortante et l'énergie entrante dans la surface de la Terre qui devraient être constantes. Tout apport de rayonnement supplémentaire provoque un déséquilibre et une hausse de température. Les gaz qui produisent le réchauffement climatique sont le CO₂, le méthane, les CFC et l'ozone troposphérique. Leur réduction pourrait diminuer considérablement le réchauffement climatique. Le changement de climat global augmente les effets de la pollution atmosphérique en élevant la température, chose qui contribue à former l'ozone troposphérique. Il augmente aussi les effets de stagnation qui altère la qualité de l'air. De la durée de vie des gaz à effet de serre dépend l'impact du changement climatique qui dure ainsi des années, des décennies ou des siècles.

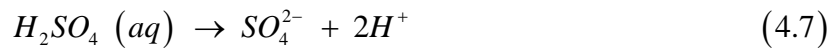
Il est à noter que le réchauffement climatique et la couche d'ozone sont des phénomènes distincts. Leurs causes sont différentes et les méthodes pour les éradiquer aussi.

4.6.2 Pluies acides

Les pluies acides ont été identifiées au 19^e siècle par le pharmacien Anglais Robert Angus Smith qui a mesuré des taux d'acidité élevés dans l'eau de la pluie qui tombait sur les zones industrielles anglaises. Plus tard, des biologistes américains et canadiens ont constaté l'altération des eaux des lacs et la diminution de la population des poissons.

Le pH de l'eau est égal à 7. La pluie contient des impuretés et des acides naturels comme le CO₂ ainsi que des bases naturelles comme l'ammoniaque et le carbonate de calcium. A l'état normal, la pluie doit avoir un pH compris entre 5 et 7. Les pluies acides produisent des pH inférieurs à 5. Ceci se produit quand de grandes quantités de polluants comme le SO₂ et les NO_x sont dans l'atmosphère. Ce sont les premiers responsables de ces

pluies. Ces deux polluants s'oxydent dans l'atmosphère en formant des acides qui, en se dissolvant dans l'eau des nuages libèrent des ions H^+ :



Les activités agricoles répandent dans l'atmosphère de l'ammoniaque qui pourrait neutraliser le H^+ en le captant pour se transformer en NH_4^+ , mais cet effet est illusoire car NH_4^+ à son tour libère H^+ quand il est dans l'atmosphère.

Dans les régions qui contiennent naturellement des bases comme les océans (riches en ions de carbonate CO_3^{2-}), les pluies acides sont rapidement neutralisées et n'ont presque pas d'effets sur l'environnement. Mais pour les régions qui n'ont pas assez de capacité à neutraliser les acides, ces pluies causent de sérieux dégâts dans les plantes, les cours d'eau comme les lacs et les fleuves et dans les sols et terres agricoles.

4.6.3 Smog

Le smog est un terme anglais formé des deux mots : *smoke* qui veut dire fumée et *fog* qui veut dire brouillard. C'est un type de pollution qui se manifeste par du brouillard qui réduit la visibilité. On distingue deux types de smog : le smog industriel et le smog photochimique.

- **Smog industriel** : dans le smog industriel, les émissions de SO_2 jouent un rôle capital. Il se forme dans les zones industrielles froides et humides. Les basses températures contribuent au phénomène d'inversion qui bloque les polluants tandis que l'humidité favorise l'oxydation rapide du SO_2 pour former de l'acide sulfurique et des particules de sulfate. Ce type de pollution est très fréquent dans les zones où il y a combustion produisant du SO_2 et cause parfois des dégâts importants, comme à Londres en 1952 ou encore à Liège en Belgique en 1930 où 60 personnes sont mortes. La réglementation en matière de pollution permet à l'heure actuelle de réduire ce phénomène, qui persiste cependant dans certains pays comme en Chine.
- **Smog photochimique** : c'est un problème qui persiste. La cause principale est les véhicules de transport urbain émettant des NO_x et des COV qui réagissent en présence des UV pour former de l'ozone. Ce type de smog est fréquent en été

quand l'ensoleillement est important et le vent est faible, favorisant la stagnation des polluants. C'est un problème récurrent dans les grandes métropoles américaines et européennes.

4.6.4 Eutrophisation

L'eutrophisation est un phénomène qui touche les milieux aquatiques à circulation réduite. Elle est le résultat d'accumulation d'éléments qui nourrissent les algues, comme l'azote et le phosphore. Ces éléments provoquent la prolifération importante de certaines algues, ce qui conduit à la désoxygénation du milieu aquatique en question, y rendant ainsi toute vie impossible. Les raisons de l'eutrophisation sont :

- les rejets de matières organiques dans les cours d'eau,
- le déversement d'engrais dans les cours d'eau,
- le déversement des eaux de pluie urbaines chargées en matières organiques.

Préservation de l'environnement

5

Sommaire

5.1 Introduction	53
5.2 Techniques de réduction de la pollution dans les procédés industriels	53
5.2.1 Incinération thermique	54
5.2.2 Incinération catalytique	55
5.2.3 Utilisation des torches	55
5.2.4 Adsorption	55
5.2.5 Absorption	56
5.2.6 Filtres	56
5.2.7 Réduction des NO _x	57
5.2.8 Réduction des oxydes de soufre	57
5.2.9 Condensation	58
5.3 Recyclage	58
5.3.1 Classification des déchets	58
5.3.2 Méthodes de valorisation par le recyclage	59
5.4 Mécanismes économiques de la préservation de l'environnement	60
5.4.1 Ecotaxe et principe du pollueur-payeur	60
5.4.2 Evaluation du coût-bénéfice	60
5.4.3 Financement des projets écologiques	61
5.4.4 Permis d'émissions négociable	61
5.5 Mécanismes juridiques et règlementaires de la préservation de l'environnement ..	61
5.6 Acteurs de la préservation de l'environnement	62
5.6.1 Organismes internationaux	62
5.6.2 Gouvernements et pouvoirs publics	62
5.6.3 Collectivités locales	62
5.6.4 Entreprises	62
5.6.5 Citoyens	63
5.7 Législation algérienne en matière d'environnement	63

5.1 Introduction

La pollution est à l'origine de plusieurs problèmes d'ordre écologique, économique, social et climatique. Elle provoque chaque année des dégâts parfois irréversibles à travers la planète. La conscience mondiale sur ces problématiques ne cesse d'augmenter. Des conférences et sommets internationaux sont organisés afin de trouver des solutions, de faire évoluer la législation et de fixer de nouvelles normes. Les scientifiques et chercheurs de différents pays ne cessent de mettre au point des techniques pour réduire la pollution ou d'améliorer les systèmes actuels. Les mécanismes sont d'ordre technique, économique ou juridique.

5.2 Techniques de réduction de la pollution dans les procédés industriels

Il existe plusieurs stratégies techniques pour réduire la pollution dans les systèmes industriels. Ces méthodes sont basées sur :

- **optimisation du procédé industriel** : elle inclut toute forme de modifications qui tend à réduire la pollution des systèmes. Ces modifications consistent soit à remplacer totalement un procédé par un autre qui pollue moins, soit à améliorer les systèmes existants.
- **changement du carburant utilisé** : une grande partie de la pollution est générée par les systèmes de combustion. Il est donc important de substituer les combustibles polluants comme le charbon par des combustibles plus propres comme le biogaz. Ces modifications doivent tenir compte de l'aspect économique autant que de l'aspect écologique,
- **suppression de la pollution** : quand le procédé industriel est trop polluant et que les modifications sont coûteuses ou impossibles, il est nécessaire de supprimer la source de pollution. Les polluants peuvent aussi être collectés ou captés à la source avant de se répandre dans l'air ou dans la nature,
- **prévention de la pollution** : il s'agit de réduire la pollution à la source, soit par des moyens chimiques ou physiques comme les filtres. Le recyclage est aussi un

moyen de prévention très efficace. La pollution qui ne peut ni être captée ni recyclée peut être traitée et transformée après émission, avant de se répandre.

Les techniques principales utilisées actuellement pour réduire la pollution sont les suivantes :

5.2.1 Incinération thermique

Cette technique permet de détruire les composés organiques volatils COV et les particules en les brûlant d'une manière contrôlée à très haute température. Les COV sont oxydés en augmentant leur température jusqu'à l'auto-inflammation en présence d'oxygène. La haute température est maintenue pendant une durée de temps suffisante pour n'obtenir à la fin que du dioxyde de carbone et de l'eau. L'incinération thermique montre une grande efficacité qui est de l'ordre de 99,9%. L'un des gros avantages de cette méthode est que la chaleur produite par l'incinération peut être récupérée et réutilisée dans d'autres circuits qui nécessitent de l'énergie thermique. Le tableau 5.1 montre le rendement de l'incinération selon les procédés industriels.

Tableau 5.1. Rendement des incinérateurs thermiques selon le procédé industriel.

(Source : Environmental Protection Agency)

Procédé industriel	Rendement en %
Industrie du pétrole et du charbon	25 - 99,9
Produits chimiques et dérivés	50 - 99,9
Métallurgie Equipements	70 - 99,9
électroniques et électriques	70 - 99,9
Verrerie et argile	50 – 95

5.2.2 Incinération catalytique

Les incinérateurs catalytiques ont le même principe de fonctionnement que les incinérateurs thermiques, mais la différence principale est que le polluant après combustion, passe par un lit catalytique qui augmente le rendement de la réaction d'oxydation et cela à une température plus basse que celle des incinérateurs thermiques. Les incinérateurs catalytiques sont parfois de petite taille, comme ceux utilisés dans les automobiles sous forme de pots catalytiques.

Les catalyseurs utilisés pour réduire les COV sont constitués de platine et de palladium. Les autres sont en oxydes métalliques, utilisés pour les gaz contenant des composés chlorés.

Les particules ont un effet de désactivation sur les catalyseurs car elles forment avec le temps une couche qui les sépare du flux à oxyder.

5.2.3 Utilisation des Torches

L'utilisation des torches est le dernier recours pour éliminer les gaz d'hydrocarbures qui ne sont pas ou sont peu recyclables et qui ne peuvent pas être réutilisés comme combustibles. Ce procédé est utilisé dans l'industrie pétrochimique, dans les raffineries de pétrole, pour éliminer les COV légers qui ont un pouvoir calorifique élevé.

La combustion des gaz de fait dans des torches, qui sont des brûleurs à l'air libre. Ces systèmes sont économiques et ne nécessitent pas un surplus de carburant pour aider la combustion à s'accomplir. Ils sont aussi utilisés pour contrôler les émissions non régulières, accidentelles et fluctuantes. Cependant, les torches produisent beaucoup de bruit, de fumées, de chaleur qui est gaspillée et de rayonnement. Elles sont d'importantes sources de NO_x , SO_x et CO. Elles ne traitent pas les gaz qui contiennent des halogènes. La tendance actuelle dans l'industrie est de les éliminer.

5.2.4 Adsorption

L'adsorption fait partie des premières techniques utilisées pour combattre la pollution. Elle est utilisée pour les sources qui émettent un taux élevé de particules et de COV. En plus, elle permet la réutilisation des COV.

Dans ce procédé, le polluant est absorbé par des granulés ou des cristaux de matières adsorbantes. L'adsorption ne se fait pas chimiquement mais les polluants sont physiquement retenus et peuvent ensuite être dégagés par la chaleur ou le vide. Le charbon actif est souvent utilisé comme adsorbant. L'adsorption par charbon actif peut être :

- **régénérative** : le procédé contient plus d'un lit de carbone : le premier est utilisé pour retirer la matière polluante, les autres pour nettoyer et préparer les COV à un usage ultérieur (recyclage ou destruction). Cette technique est efficace quand le taux d'émissions est très élevé,
- **non-régénérative** : un seul lit de charbon actif absorbe les substances polluantes. Il est changé dès qu'il devient saturé. Cette technique utilisée pour les taux de pollution peu élevés est pratiquement abandonnée car elle génère un problème de déchets.

5.2.5 Absorption

C'est un procédé qui permet d'éliminer les polluants gazeux par dissolution dans un liquide qui est généralement de l'eau. Quand le flux gazeux passe par le liquide absorbant, il s'y dissout en formant une solution. Ce procédé est utilisé pour les polluants qui contiennent une quantité élevée de composés organiques.

Les gaz pollués sont introduits dans une colonne où l'eau est en contre-courant pour que le mélange se fasse mieux. Le rendement de ces dispositifs avoisine 95%.

Le principal inconvénient de cette technique est qu'elle produit une grande quantité d'eau chargée de polluants et transforme ainsi la pollution de l'air en pollution de l'eau.

5.2.6 Filtres

Les filtres servent à capturer les particules dans le cas des émissions gazeuses. Il est aussi utilisé pour filtrer des liquides comme l'eau. Les flux de gaz passent à travers un filtre qui collecte les particules. Les filtres peuvent être sous forme de feuilles, de cartouches ou de sacs. Ils ont une efficacité de plus de 99,9%. Ils ne sont pas sensibles aux fluctuations du débit du gaz ni aux problèmes de corrosion. Leur maintenance est très simple et leur géométries variées avec une grande gamme de dimensions ce qui les rend adaptables à tous les systèmes.

Cependant, leur fabrication nécessite des techniques coûteuses. Ils ne résistent en général pas aux hautes températures et leur remplacement nécessite une protection respiratoire du personnel. Ils ne supportent parfois pas les pressions élevées.

5.2.7 Réduction des NO_x

La réduction spécifique des NO_x est très complexe à mettre en œuvre. Tous les systèmes de combustion dégagent des NO_x. Elle se fait par plusieurs méthodes :

- **réduction de la température** : la partie majeure des émissions NO se fait à haute température. La réduction de celle-ci permet donc de réduire considérablement les émissions de NO. Techniquement, cela se fait par la recirculation des gaz brûlés, l'optimisation des conditions de combustion, la réduction de l'excès d'air ou encore l'injection de vapeur d'eau dans le système de combustion. Cette vapeur sert à diluer et à refroidir,
- **réduction du temps de séjour** : cette réduction du temps que passe le carburant à brûler ou à être injecté retarde l'ionisation de l'azote. Il est nécessaire de faire des réglages de l'injection de l'air, du carburant et d'injecter de la vapeur d'eau,
- **réduction chimique** : des substances réductrices permettent de dissocier l'oxygène des NO_x,
- **retrait de l'azote** : la quantité d'azote est réduite soit en utilisant de l'oxygène au lieu de l'air ou en utilisant des carburants très pauvres en azote,

La combinaison de plusieurs de ces méthodes est possible et donne des résultats très satisfaisants.

5.2.8 Réduction des oxydes de soufre

Le soufre est éliminé au fur et à mesure de sa formation par des matières absorbantes. Ensuite, ces matières sont retraitées pour en retirer le soufre accumulé et l'utiliser pour fabriquer de l'acide sulfurique à usage commercial ou industriel par exemple. Ces techniques peuvent être humides ou sèches et les matières absorbantes sont en général de la roche calcaire.

5.2.9 Condensation

Dans cette technique, les gaz pollués sont condensés en baissant leur température pour qu'ils deviennent liquides. Ces liquides chargés de polluants sont ensuite recueillis. La condensation se fait soit par la diminution de la température ou par l'augmentation de la pression. Cette technique est utilisée en combinaison avec d'autres techniques pour améliorer son efficacité.

5.3 Recyclage

Le recyclage consiste à redonner une seconde utilisation aux déchets pour qu'ils puissent être réexploités sous une nouvelle forme. C'est le contraire de l'élimination, qui consiste à détruire les déchets sans leur donner une nouvelle utilisation. Le recyclage peut être :

- **mécanique** : les déchets sont réintroduits dans l'industrie sans que leur structure chimique ne soit détruite,
- **énergétique ou thermique** : les déchets, en brûlant, sont transformés en chaleur utilisée dans les procédés industriels en tant qu'énergie thermique,
- **chimique** : la structure chimique des déchets est détruite, ils se transforment en d'autres molécules et deviennent des produits intermédiaires utilisés dans un procédé industriel.

5.3.1 Classification des déchets

Les déchets sont classés selon leur provenance et leur nature en :

- **déchets municipaux** : dont la collecte relève des services de la commune. Ils sont classés à leur tour en : déchets ménagers, déchets des collectivités (des travaux publics de la commune) et encombrants (comme les appareils électroménagers),
- **déchets industriels** : ils se divisent en déchets dangereux qui contiennent des matières toxiques et en déchets non dangereux ou banals,
- **déchets de l'agriculture** : qui comprennent les déchets de plantes, d'animaux, d'engrais et de pesticides et de matières plastiques,

- **déchets de la construction et de la démolition** : ils proviennent des activités de construction,
- **déchets des activités de soins** : ils proviennent du soin des humains et des animaux. Ils peuvent contenir des bactéries, des matières radioactives, des médicaments et des matières toxiques,
- **les déchets électriques ou électroniques** : ce sont des équipements électriques ou électroniques ou encore informatiques,
- **les déchets de l'automobile** : les carcasses de voitures, les pièces détachées, les huiles de vidange et les batteries.

Les déchets sont aussi classés selon leur dangerosité en :

- **déchets radioactifs** : qui contiennent des rayonnements radioactifs,
- **déchets inertes** : qui n'ont subi aucune modification,
- **déchets ultimes** : qui ne sont plus susceptibles d'être traités, ils sont issus ou non du traitement d'autres déchets,
- **déchets non dangereux** : ils ne présentent pas de dangerosité ni de toxicité.

5.3.2 Méthodes de valorisation par le recyclage

La valorisation des déchets est toute opération permettant de réutiliser les déchets après transformation ou en utilisation directe. Avant de procéder à la valorisation, il est utile de déterminer le potentiel des déchets, c'est-à-dire leur nature et la possibilité de les transformer. Il existe les types suivants de recyclage :

- **recyclage physico-mécanique** : après avoir été triés, les déchets sont fondus s'ils sont fusibles. Sinon, ils sont broyés et réincorporés dans de nouvelles formules,
- **recyclage en matière première pour la chimie** : la matière des déchets est décomposée et sa formule chimique change. Ceci peut se faire par pyrolyse, hydrogénation, gazéification ou autre,
- **recyclage énergétique** : les déchets sont brûlés et la chaleur récupérée est utilisée en tant qu'énergie pour le chauffage, la production d'électricité ou de vapeur, ou dans les fours industriels. Pour cela, il faut que le pouvoir calorifique des déchets soit élevé. L'opération se déroule dans des incinérateurs qui sont soumis à des lois très strictes concernant leurs émissions polluantes.

5.4 Mécanismes économiques de préservation de l'environnement

Une des méthodes de contrôle des émissions polluantes industrielles est le facteur économique. Des motivations d'ordre économique peuvent être mises en place pour réduire la pollution.

5.4.1 Ecotaxe et principe du pollueur-payeur

L'instauration des écotaxes se révèle très efficace dans la dissuasion d'émettre des polluants. L'écotaxe consiste à payer des taxes pour les émissions émises. Le montant de ces taxes est régulé par une échelle publiée par les autorités compétentes du pays ou de la région. Cette taxe doit être calculée d'une manière telle que les grands pollueurs trouvent plus économique d'installer des systèmes pour réduire leurs émissions plutôt que de payer ces taxes. Les coûts des taxes doivent tenir en compte les frais occasionnés par la pollution lors de la production et de la consommation. Actuellement, il existe des taxes pour l'émission des gaz à effet de serre comme le CO₂ et les oxydes de soufre. Ainsi, le pollueur paye le prix de sa pollution.

En Algérie, les écotaxes sont fixées par le décret exécutif n° 09-336 du 20 octobre 2009 qui contient la liste des produits polluants et dangereux ainsi que les taxes correspondantes.

5.4.2 Evaluation du coût-bénéfice

Cette méthode est basée sur l'estimation du coût de l'alternative la meilleure pour réduire la pollution d'un site industriel. Le but de cette solution est de minimiser le niveau de pollution et de contrebalancer le coût des dégâts causés par cette pollution en choisissant le moyen de réduction des polluants le moins cher.

Le principe de responsabilité joue un rôle clé dans cette méthode, dans la mesure où il faut déterminer le niveau minimal acceptable d'émissions d'une manière rationnelle. La stratégie d'évaluation du coût du bénéfice est difficile à mettre en œuvre car elle comporte beaucoup de paramètres incertains et de facteurs fluctuants.

5.4.3 Financement des projets écologiques

Le respect de l'environnement et le développement durable passent par l'encouragement des projets écologiques. Le financement des projets de développement durable et notamment les projets expérimentaux tend à initier à ce type d'expériences. Les financements sont fournis par les autorités du pays, de la région, ou encore par les organismes internationaux comme l'Union Européenne qui a financé le programme expérimental sur le transport urbain CONCERTO.

5.4.4 Permis d'émissions négociables

Les « droits d'émettre » du CO₂ peuvent être achetés, ou acquis en finançant des projets de développement propres dans d'autres états. Ces mécanismes s'appellent « mécanismes de flexibilité ».

Dans tous les cas, les acteurs du marché du carbone doivent surveiller leurs émissions par des méthodes agréées par les instances internationales. Un rapport d'émissions doit être présenté puis certifié par les autorités compétentes du pays en question. Ces déclarations des données certifiées permettent des échanges entre les « comptes carbone » des participants au droit de carbone. Des marchés sont ainsi créés au niveau régional et international. Ces marchés sont liés entre eux pour plus de flexibilité.

5.5 Mécanismes juridiques et réglementaires de préservation de l'environnement

Les aspects juridique et réglementaire jouent un rôle non négligeable dans la préservation de l'environnement. D'abord, les lois mises au point et appliquées dans les pays doivent tendre à dissuader les acteurs de la pollution à émettre plus et sans tenir compte de l'environnement. Elles doivent aussi punir les auteurs d'infractions en matière de pollution, comme les rejets illégaux de déchets dans des endroits inappropriés par exemple. Des seuils d'émissions standards doivent être fixés par les législateurs.

La notion de nuisance liée à la pollution doit être primordiale. C'est grâce à cette notion que la pollution a commencé à être considérée comme un sérieux problème.

5.6 Acteurs de la préservation de l'environnement

Le principe de préservation de l'environnement passe par un travail de groupe qui implique plusieurs acteurs économiques, sociaux et politiques.

5.6.1 Organismes internationaux

Les instances internationales comme les Nations Unies jouent un rôle dans la prise de conscience globale, l'incitation à agir, l'harmonisation des actions et l'action internationale elle-même. Elles organisent des conférences et des rencontres mondiales, permettent d'établir des programmes sur l'environnement comme l'Agenda 21 et peuvent même obliger certains pays récalcitrants à agir dans ce sens.

5.6.2 Gouvernements et pouvoirs publics

Ils ont le pouvoir de s'engager à préserver l'environnement. Les hautes instances des pays veillent à l'application du développement durable et de ses principes dans leur territoire. Ils ont aussi le pouvoir d'élaborer des stratégies nationales de développement durable et de légiférer dans leur pays. Ils doivent veiller à appliquer les principes écologiques.

5.6.3 Collectivités locales

Elles font partie des acteurs principaux car elles gèrent l'aménagement, l'eau, l'habitat, le transport, les déchets et l'énergie de leur territoire. Elles peuvent encourager et privilégier l'acquisition et la consommation de produits écologiques. Elles gèrent les marchés et appels d'offre et peuvent donc exiger des critères écologiques. Enfin, elles contribuent à l'application de la réglementation dans leur territoire.

5.6.4 Entreprises

Elles doivent intégrer dans leurs stratégies le développement durable. Les entreprises publiques sont les premières à appliquer des stratégies respectueuses de l'environnement car l'Etat y veille. Les entreprises privées se mettent à leur tour progressivement à ce concept et cherchent à avoir des certifications qui leur donnent aussi une bonne image.

5.6.5 Citoyens

Ils contribuent à la protection de l'environnement et consommant des produits écologiques et en ayant des gestes responsables comme le tri des déchets, la limitation de la consommation de l'eau et de l'énergie et la participation dans les actions associatives.

5.7 Législation algérienne en matière d'environnement

L'Algérie à l'instar de la grande majorité des pays du monde, a développé une législation en matière de respect et de préservation de l'environnement. Cette législation d'abord timide, s'est développée d'une manière sensible ces dernières années et continue à évoluer.

Les lois les plus importantes ainsi que leur contenu sont résumés dans le tableau 5.2.

Tableau 5.2. Quelques décrets et lois sur la protection de l'environnement et le développement durable en Algérie [1].

Référence du décret ou de la loi	Objet	Points principaux
Décret Présidentiel n° 94-465 du 25 décembre 1994	Création du Haut Conseil de l'Environnement et du Développement Durable et fixant ses attributions, son organisation et son fonctionnement	Le Haut Conseil est chargé de déterminer les grandes options nationales stratégiques de l'environnement, de faire l'observation et le suivi de l'environnement en Algérie.
Décret exécutif n°02-115 du 03 avril 2002	Création de l'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable	L'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable ONEDD est chargé de collecter, traiter, produire et diffuser l'information environnementale technique, scientifique et statistique.
Loi n° 03-01 du 17 février 2003	Développement durable du tourisme	Définition des conditions de développement durable des activités touristiques et leur mise en œuvre, dans le cadre de la préservation de l'environnement
Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003	Protection de l'environnement dans le cadre du développement durable	Définition des principes généraux du développement durable et des instruments de gestion de l'environnement, précision des outils de préservation, sanctions juridiques pour les pollueurs.
Loi n° 04-09 du 14 août 2004	Promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable	Définition et promotion des énergies renouvelables et programme national de développement des énergies renouvelables.
Décret exécutif n° 09-336 du 20 octobre 2009	Taxe sur les activités polluantes ou dangereuses pour l'environnement	Définition des activités soumises à la taxe et d'un coefficient multiplicateur selon la quantité des déchets émis.

Tableau 5.2. (suite)

Référence du décret ou de la loi	Objet	Points principaux
Décret Présidentiel n° 15-117 du 13 mai 2015	Ratification de l'accord entre le Gouvernement de la République Algérienne Démocratique et Populaire et l'Université des Nations Unies sur la création, le fonctionnement et l'emplacement de l'institut de l'Université des Nations Unies pour le développement durable (UNU – IRADDA) à Alger (Algérie) signé à Alger le 22 décembre 2013	Le principal but de l'institut est de contribuer par le biais de l'enseignement et de la recherche à surmonter les défis actuels en matière de développement durable. Les activités, les buts, le statut juridique et le siège de l'institut sont déterminés.
Décret exécutif n° 15-207 du 27 juillet 2015	Modalités d'initiation et d'élaboration du plan national d'action environnementale et du développement durable (P.N.A.E.D.D)	Identification d'un plan d'action environnementale et du développement durable de cinq ans. Création d'un comité national d'examen du plan national d'action environnementale et du développement durable auprès du ministre de l'environnement.

Références bibliographiques

- [1] Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire
www.joradp.dz/HFR/Index.htm
- [2] J C Van Duysen, S Jumel. *Le développement durable*. L'Harmattan, Paris, 2008.
- [3] T Malthus. *Essai sur le principe de population*. 1798.
http://classiques.uqac.ca/classiques/malthus_thomas_robert/malthus.html
- [4] *Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,
<http://www.ipcc-wg2.org>.
- [5] *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*. Working Group III contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change, Fourth Assessment Report.
http://www.mnp.nl/ipcc/pages_media/AR4-chapters.html.
- [6] Collectif sous la direction de J Fialaire. *Les stratégies du développement durable*. L'Harmattan, Paris, 2008.
- [7] A Rabl, N Cook, RRH Cohen, T Illangasekare. *Environmental engineering : Benchmarks and reference conditions*. Mechanical Engineering Handbook. CRC Press. Frank Kreith, Boca Raton, 1999.
- [8] *Hydropower*. DoE Hydropower. United States Department of Energy website, 2002.
<http://www.eren.doe.gov/RE/hyropower.html>.
- [9] MC Reed, LL Wright, RP Overend, C Wiles. *Energy resources : Biomass energy*. Mechanical Engineering Handbook. CRC Press. Frank Kreith, Boca Raton, 1999.
- [10] Y Lazzeri. *Le développement durable, du concept à la mesure*. L'Harmattan, Paris, 2008.
- [11] R Reuther. *Energy resources : Fossil fuels: coal*. Mechanical Engineering Handbook. CRC Press. Frank Kreith, Boca Raton, 1999.
- [12] PC Crouse. *Energy resources : Fossil fuels: oil*. Mechanical Engineering Handbook. CRC Press. Frank Kreith, Boca Raton, 1999.
- [13] PC Crouse. *Energy resources : Fossil fuels: natural gas*. Mechanical Engineering Handbook. CRC Press. Frank Kreith, Boca Raton, 1999.
- [14] DY Goswami. *Energy resources : Solar energy resources*. Mechanical Engineering Handbook. CRC Press. Frank Kreith, Boca Raton, 1999.

- [15] MC Reed, LL Wright, RP Overend, C Wiles. *Energy resources : Biomass energy*. Mechanical Engineering Handbook. CRC Press. Frank Kreith, Boca Raton, 1999.
- [16] B Sorensen. *Renewable energy : it physics, engineering, use, evironemental impacts, economy and planning aspects*. Third edition. Elsevier Science. 2004.
- [17] JR Franchi. *Energy in the 21st century*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore, 2005.
- [18] P Laplaige, J Lemale. *Energie géothermique*. Techniques de l'ingénieur, traité Génie Energétique, 2000.
- [19] JC Boeglin. *Pollution industrielle de l'eau : Caractérisation, classification, mesure*. Techniques de l'ingénieur, traité Génie Industriel, 2000.
- [20] K Khalifa. *Analyse du cycle de vie : Méthodes d'évaluation des impacts*. Techniques de l'ingénieur, traité Environnement, 2000.
- [21] W Franek, L DeRose. *Principles and practices of air pollution control*. Student manual. Environmental Protection Agency, Air Pollution Training Institute. Second edition, United States, 2003.
- [22] *Pollution prevention and abatement handbook 1998 : toward cleaner production*. The World Bank Group with the collaboration with the United Nations Environment Programme and the United Nations Industrial Development Organization. United States, 1999.
- [23] P Gautron. *Valorisation et recyclage des déchets*. Techniques de l'ingénieur, traité Plastiques et Composites, 2000.