

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, ALGERIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

ÉNERGIES & ENVIRONNEMENT

Support de Cours destiné aux étudiants de
deuxième année de la licence académique
électromécanique

Dr. Réda KHAMA

2017

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, ALGERIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

ÉNERGIES & ENVIRONNEMENT

Support de Cours destiné aux étudiants de
deuxième année de la licence académique
électromécanique

Dr. Réda KHAMA

2017

À

tous mes étudiants

Avant-propos

L'électromécanique est l'association des techniques de l'électricité et de la mécanique. Au début de ses applications, l'électricité était une source d'énergie au service de la mécanique. Dans ce sens, il s'avère nécessaire voire impératif d'aborder le concept d'énergie.

L'objectif de ce polycopié, destiné aux étudiants de deuxième année de la licence académique électromécanique, est de fournir des cours et des notions de base sur toutes les énergies existantes dans le monde et celles qui se trouvent dans notre pays. La matière enseignée vise de faire connaître à l'étudiant, en plus des différentes énergies existantes, leurs sources et l'impact de leurs utilisations sur l'environnement. Ce support résulte de la lecture d'ouvrages et de documents dont la plupart ne sont pas cités dans la bibliographie. En particulier, je me suis largement inspiré des nombreux documents accessibles en ligne.

En plus d'une introduction (chapitre 0) à la matière et aux connaissances que l'étudiant doit acquérir juste avant d'entamer le programme officiel, ce polycopié est composé de six autres chapitres :

- Chapitre 1: Les différentes ressources d'énergie
- Chapitre 2: Stockage de l'énergie
- Chapitre 3: Consommations, réserves et évolutions des ressources d'énergie
- Chapitre 4: Les différents types de pollutions
- Chapitre 5: Détection et traitement des polluants et des déchets
- Chapitre 6: Impact des pollutions sur la santé et l'environnement.

Bibliographie

1. Jenkins & coll., *Electrotechnique des énergies renouvelables et de la cogénération*, Dunod, 2008.
2. Crastan, *Centrales électriques et production alternative d'électricité*, Lavoisier, 2009.
3. *Stockage de l'énergie* :
https://fr.wikipedia.org/wiki/Stockage_de_l%27%C3%A9nergie.
4. Labouret & Villosz, *Énergie solaire photovoltaïque*, 4eed, Dunod, 2009.
5. <https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie>
6. *'Ressources énergétiques - Web Sciences'* :
www.web-sciences.com/documents/premiere/pedo15/peco15.php
7. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Environnement>
8. Sylvain David, *La problématique des sources d'énergie du futur*. CNRS Institut de Physique Nucléaire d'Orsay sdavid@ipno.in2p3.fr.
9. D. Doumont & F. Libion, *Impact sur la santé des différents polluants : quels effets à court, moyen et long terme ?* Série de dossiers techniques, Service Communautaire de Promotion de la Santé avec le soutien de la Communauté française de Belgique en collaboration et pour le cabinet de la Ministre de l'Enfance, de l'Aide à la Jeunesse et de la Santé.
10. *Déchets Énergie Environnement : Etude prospective du potentiel de déchets mobilisables à des fins énergétiques en France à l'horizon 2020*, Les cahiers du clip N ° 5 - Juillet 1996.
11. Bernard Durand, *Énergie et environnement les risques et les enjeux d'une crise annoncée*, EDP Sciences 17, avenue du Hoggar Parc d'Activité de Courtabœuf - BP 112 91944 Les Ulis Cedex A – France.
12. <http://www.japprends-lenergie.fr/upload/enjeux/ressources/japprendslenergie-energie-definitions-et-principes.pdf>.
13. http://www.lyc-vinci-st-witz.acversailles.fr/IMG/pdf/chapitre17_ressources_energetiques_corrige_.pdf.
14. *Environnement - Wikipédia* : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Environnement>.
15. *Toupictionnaire : le dictionnaire de politique*,
<http://www.toupie.org/Dictionnaire/Environnement.htm>
16. *Le salon online de l'industrie* :
<http://www.directindustry.fr/prod/bruker-optics/product-57234-841975.html>
17. C. Caboot, A. Kerckhoven et L. Verstraeten. 'Catégorie Paramédicale SECTION Soins infirmiers - Méthodologie de la Recherche - 3e Bac. en Soins Infirmiers' (2012/2013), Haute Ecole Libre de Bruxelles - Ilya PRIGOGINE.

Table des matières

Avant-propos	3
Bibliographie	4
Chapitre 0	Énergie & Environnement, c'est quoi au juste ?	9
1.	L'énergie, c'est quoi au juste ?.....	9
1.1.	Définitions	9
1.2.	Caractéristiques d'énergie	9
1.2.1.	Énergies primaires	9
1.2.2.	Énergies secondaires	10
1.2.3.	Quantité d'énergie	10
1.2.4.	Transmission de l'énergie et son transformation.....	11
1.2.5.	Unités d'énergie.....	11
1.3.	Formes d'énergie	12
1.3.1.	Énergie mécanique	12
1.3.2.	Énergie thermique	13
1.3.3.	Énergie chimique.....	13
1.3.4.	Énergie rayonnante.....	13
1.3.5.	Énergie nucléaire	14
1.3.6.	Énergie électrique.....	14
2.	L'environnement, c'est quoi au juste ?	16
2.1.	Définitions	16
2.2.	Sciences de l'environnement	16
2.3	Gestion de l'environnement.....	17
Chapitre 1	Les différentes ressources d'énergie	19
1.	Introduction	19
2.	Ressources énergétiques.....	20
2.1.	Ressources fossiles	20
2.2.	Ressources fissiles	20
2.3.	Vent.....	20
2.4.	Biomasse	21
2.5.	Terre	21
2.6.	Soleil.....	21

2.7.	Eau.....	21
2.8.	Marrées.....	22
Chapitre 2	Stockage de l'énergie.....	25
1.	Introduction	25
2.	Définitions	26
3.	Intéret du stockage de l'énergie	27
4.	Efficacité énergétique d'un stockage d'énergie	27
5.	Grandes formes de stockage.....	28
5.1.	Stockage sous forme d'énergie chimique.....	28
5.2.	Stockage sous forme d'énergie mécanique	28
5.3.	Stockage sous forme d'énergie calorifique	29
Chapitre 3	Consommations, réserves et évolutions des ressources d'énergie...31	
1.	Introduction	31
2.	Consommation énergétique mondiale	32
3.	Réserves des ressources d'énergie.....	33
4.	Evolution des ressources d'énergie	33
Chapitre 4	Les différents types de pollutions.....37	
1.	Définitions	37
2.	Causes de la pollution	37
3.	Sources de la pollution de l'air anthropique	37
4.	Emission et immission	38
5.	Types de pollution.....	38
5.1.	Pollution par type	39
Chapitre 5	Détection et traitement des polluants et des déchets41	
1.	Introduction	41
2.	Détection des polluants	41
3.	Classement des différentes techniques de dépollution.....	43
3.1.	Classement en fonction de la nature des procédés employés.....	43
3.2.	Classement en fonction du lieu de traitement	44
3.3.	Classement en fonction du devenir des polluants	44

Chapitre 6	Impact des pollutions sur la santé et l'environnement.....	47
1. Introduction		47
2. Effets de la pollution		47
3. Impact sur la santé.....		48
4. Quantification.....		50
5. Impact sur l'environnement.....		51
Annexe :	Programme officiel de la matière	53

Chapitre 0

Énergie & Environnement, c'est quoi au juste ?

1. L'énergie, c'est quoi au juste ?

1.1. Définitions

Plusieurs définitions peuvent être attribuées au terme « énergie », selon le domaine ou/et le contexte d'étude. Par exemple, les définitions suivantes données par la littérature peuvent être citées :

- L'énergie est tout ce qui permet d'agir : sans elle, rien ne se passe, pas de mouvement, pas de lumière, pas de vie.
- Autrement dit, l'énergie caractérise la capacité à modifier un état, à produire un travail entraînant un mouvement, ou produisant par exemple de la lumière, de la chaleur ou de l'électricité.
- En outre, la réalisation de plusieurs phénomènes naturels n'est permise que par l'énergie : croissance des plantes, vent, courants des rivières, vagues, chute d'objets, ...
- Un tel terme est utilisé également en technologie et en économie afin d'évoquer les ressources énergétiques (consommation, développement, épuisement et impact écologique).

1.2. Caractéristiques de l'énergie

1.2.1. Énergies primaires

Les énergies primaires sont celles que l'on trouve dans la nature (à l'état brut) comme par exemple :

- L'énergie des muscles ou encore l'énergie musculaire issue de la nourriture.
- L'énergie hydraulique fournie par le mouvement de l'eau.
- L'énergie du vent ou encore l'énergie éolienne.
- L'énergie des combustibles (pétrole, gaz naturel, charbon, biomasse ...)

Cependant, l'électricité statique et l'électricité des éclairs, ne sont pas des énergies primaires, car elles ne sont pas exploitables par l'homme.

A l'échelle industrielle, les énergies primaires sont réparties en :

- Énergies Renouvelables (soleil, eau, vent, ..).
- Énergies non renouvelables (énergies fossiles : pétrole, charbon, gaz et énergie nucléaire).

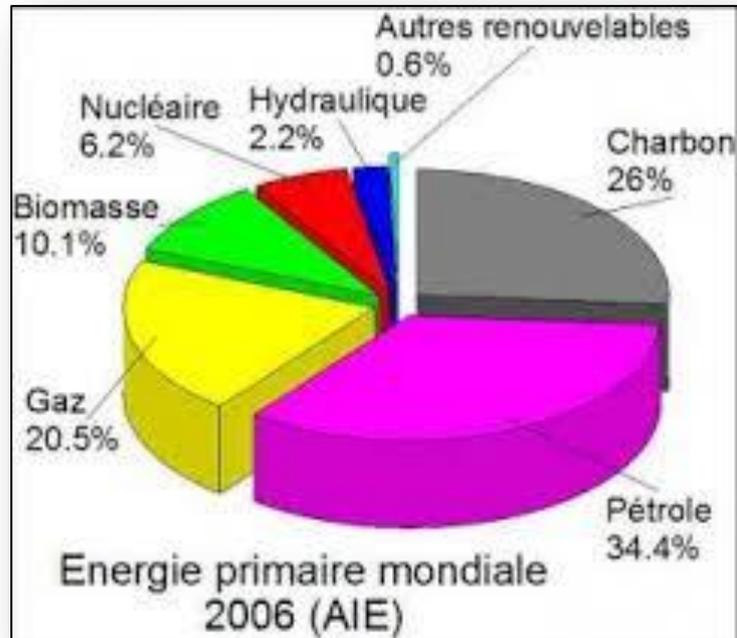


Figure 1. Énergie primaire mondiale 2006. (Source : AIE)

1.2.2. Énergies secondaires

Les énergies secondaires résultent des transformations faites par l'être humain sur les énergies primaires comme par exemple :

- L'électricité : produite à partir du gaz, du charbon, de l'eau, du vent ou du soleil.
- Les carburants.

Il faut ensuite noter, que l'énergie secondaire est transformée en énergie finale, telle que la lumière, la chaleur et l'énergie mécanique.

1.2.3. Quantité d'énergie

L'importance de la quantité d'énergie renfermée par une matière est fonction des caractéristiques de cette dernière (position, masse, forme, vitesse, ...).

Par exemple :

- En comprimant un ressort, la quantité d'énergie est proportionnelle à son allongement.

- En plaçant un corps à une hauteur donnée par rapport au sol, la quantité d'énergie est proportionnelle à élévation.
- En déplaçant un corps, la quantité d'énergie renfermée par ce dernier est d'autant plus importante que sa vitesse est élevée.

1.2.4. Transmission de l'énergie et son transformation

En réalité, l'énergie contenue dans la matière n'est pas visible mais par contre la lumière, le mouvement, le vent et les vagues, par exemple, peuvent se manifester d'une manière ou d'une autre, pour la mettre en évidence et par suite la rendre visible. Parmi les propriétés de l'énergie, il y a sa transmission d'un corps à un autre, souvent par transformation, mais elle n'est jamais créée ni détruite : lorsque l'on parle de production d'énergie, il ne s'agit pas d'une création, mais d'une transformation.

L'énergie se présente sous plusieurs formes (thermique, cinétique, électrique...) et l'une de ses propriétés essentielles est de pouvoir être convertie d'une forme en une autre. En effet, toute action ou changement d'état nécessite que de l'énergie soit échangée.

Elle est obtenue par :

- Combustion de carburants.
- Utilisation de l'électricité
- Utilisation de forces naturelles.

1.2.5. Unités de l'énergie

L'énergie exprime la force des phénomènes physiques, c'est une quantité mesurable.

- Le joule (J) est l'unité de mesure de l'énergie de référence selon le système international d'unités (SI).

Par définition, le joule est le travail d'une force d'un Newton dont le point d'application se déplace d'un mètre dans la direction de la force. Il représente une quantité d'énergie perçue comme petite dans l'activité courante d'un être humain, ce qui handicape son usage dans certaines circonstances. Aussi est-il parfois utilisé au travers de ses multiples en milliers : kilojoule (kJ), mégajoule (MJ), gigajoule (GJ), ...

$$1 \text{ kJ} = 10^3 \text{ J}$$

$$1 \text{ MJ} = 10^6 \text{ J}$$

$$1 \text{ GJ} = 10^9 \text{ J}$$

- Dans la pratique, l'énergie est fréquemment mesurée en utilisant d'autres unités que le joule : la tonne d'équivalent pétrole (tep), le kilowatt-heure (KW.h ou kWh), le British Thermal Unit (BTU), la thermie (th) qui est une unité ancienne d'énergie etc.

$$1 \text{ BTU} = 1055 \text{ J}$$

$$1 \text{ th} = 10^6 \text{ cal} = 4\,185.5 \times 10^3 \text{ J}$$

- La tep permet de mesurer l'énergie calorifique d'une tonne de pétrole 'moyen'. Elle est souvent employée dans les bilans énergétiques :

$$1 \text{ ktep} = 10^3 \text{ tep}$$

$$1 \text{ Mtep} = 10^6 \text{ tep}$$

- Les confusions dans les unités en matière d'énergie sont courantes. Par exemple, le kW est une unité de puissance tandis que le kWh désigne une quantité d'énergie.

$$1 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

1.3. Formes d'énergie

On parle souvent de deux genres ou formes d'énergie : le travail (noté W) et la chaleur (notée Q).

Le travail : est un transfert ordonné d'énergie entre un système et le milieu extérieur,

La chaleur : est un transfert désordonné d'énergie entre le système et le milieu extérieur.

En outre, différentes formes d'énergie peuvent être distinguées :

- Énergie de position : cinétique et mécanique (associée au mouvement).
- Énergie potentielle chimique.
- Énergie lumineuse.
- Énergie thermique.
- Énergie électrique.
- Énergie électromagnétique.
- Énergie potentielle.

1.3.1. Énergie mécanique

L'énergie mécanique est la somme des énergies cinétique et potentielle, soit :

$$E_{\text{mécanique}} = E_{\text{cinétique}} + E_{\text{potentielle}}$$

- Énergie cinétique (E_c) qui est l'énergie des corps en mouvement. Comme l'énergie des cours d'eau (énergie hydraulique) et celle du vent (énergie éolienne). Elles peuvent être transformées en énergie mécanique (moulin à eau, moulin à vent, pompe reliée à une éolienne) ou en électricité, si elles entraînent un générateur.
- Énergie potentielle (E_p) qui est l'énergie stockée dans les corps immobiles. Elle dépend de la position de ces derniers. Comme son nom l'indique, elle existe potentiellement, c'est-à-dire qu'elle ne se manifeste que lorsqu'elle est convertie en énergie cinétique.

1.3.2. Énergie thermique (ou calorifique)

C'est la chaleur ou encore l'énergie calorifique. Elle est causée par l'agitation, au sein de la matière, des molécules et des atomes en représentant donc l'énergie cinétique d'un ensemble au repos.

- Dans une machine à vapeur : elle est transformée en énergie mécanique.
 - Dans une centrale thermique : elle est convertie en électricité.
- Le sous-sol renferme de l'énergie thermique (géothermie), qui est utilisée soit pour produire du chauffage, soit pour générer de l'électricité.

1.3.3. Énergie chimique

C'est l'énergie associée aux liaisons entre les atomes constituant les molécules. Certaines réactions chimiques sont capables de briser ces liaisons, ce qui libère leur énergie ; de telles réactions sont dites exothermiques comme la combustion par exemple.

Lors de la combustion, le pétrole, le gaz, le charbon (biomasse) convertissent leur énergie chimique en chaleur et souvent en lumière (Flamme).

Dans les piles, les réactions électrochimiques donnent de l'électricité.

1.3.4. Énergie rayonnante

C'est l'énergie transportée par les rayonnements telle que l'énergie lumineuse et le rayonnement infrarouge émis, par exemple, par le soleil ou les filaments des ampoules électriques.

L'énergie des rayonnements solaires peut être récupérée et convertie en électricité (énergie photovoltaïque) ou en chaleur solaire (solaire thermique).

1.3.5. Énergie nucléaire

C'est l'énergie stockée dans les atomes (dans les liaisons entre les protons et les neutrons au niveau du noyau). En transformant les noyaux atomiques, les réactions nucléaires s'accompagnent d'un dégagement de chaleur.

Dans les centrales nucléaires, on réalise des réactions de fission des noyaux d'uranium, et une partie de la chaleur dégagée est transformée en électricité.

1.3.6. Énergie électrique

Il s'agit de l'énergie transférée d'un système à un autre grâce à l'électricité. Les systèmes pouvant fournir ces transferts électriques sont par exemple les alternateurs et les piles.

Les systèmes receveurs de ces transferts sont par exemple les résistances, les lampes et les moteurs électriques.



Figure 2. La foudre illustre généralement l'énergie à l'état naturel. Paradoxalement elle en contient assez peu. Sa violence vient surtout de la rapidité et de l'extrême localisation du phénomène. (Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie>)

2. L'environnement, c'est quoi au juste ?

2.1. Définitions

Plusieurs définitions, trouvées dans la littérature, peuvent être attribuées au terme "Environnement", en effet :

- Environnement = Ensemble des éléments (biotiques ou abiotiques) qui entourent un individu ou une espèce et dont certains contribuent directement à subvenir à ses besoins.
- Environnement = Ensemble des conditions naturelles (physiques, chimiques, biologiques) et culturelles (sociologiques).
- Environnement = Ensemble des éléments objectifs (qualité de l'air, bruit, etc.) et subjectifs (beauté d'un paysage, qualité d'un site, etc.) constituant le cadre de vie d'un individu.
- Environnement = Ensemble des éléments qui constituent le voisinage d'un être vivant ou d'un groupe d'origine humaine, animale ou végétale et qui sont susceptibles d'interagir avec lui directement ou indirectement.
- Environnement = Contexte écologique global, c'est-à-dire l'ensemble des conditions physiques, chimiques, biologiques climatiques, géographiques et culturelles au sein desquelles se développent les organismes vivants, et les êtres humains en particulier. L'environnement inclut donc l'air, la terre, l'eau, les ressources naturelles, la flore, la faune, les hommes et leurs interactions sociales.

2.2. Sciences de l'environnement

La science a connu un développement considérable au cours du dernier siècle. Les connaissances scientifiques ont beaucoup progressé, en particulier dans le domaine de l'environnement. Certaines disciplines spécialement dédiées à l'environnement, qui n'existaient pas jusque-là sont même apparues récemment, l'écologie peut en être l'exemple.

La mise au point de nouveaux moyens techniques, d'instruments de mesures et d'observation, a fait considérablement avancer la connaissance que nous avons de l'environnement, que ce soit au niveau du fonctionnement des êtres vivants et des interactions avec leur milieu, des écosystèmes. Les avancées de la physique et de la chimie nous ont permis de comprendre le fonctionnement des végétaux et plus

globalement des corps vivants. L'avancée de la science a entraîné une plus grande mesurabilité des impacts humains sur l'environnement, d'où provient également une plus grande prise de conscience.

Les problématiques environnementales sont passées de problèmes locaux, comme la protection d'une espèce, à des problèmes mondiaux comme :

- Le trou dans la couche d'ozone.
- Le réchauffement de la planète.

2.3. Gestion de l'environnement

La gestion de l'environnement consiste à :

- identifier les besoins et les contraintes de systèmes d'études déterminés.
- chercher de nouvelles solutions pour la gestion quotidienne de l'environnement.

Par conséquent, il faut savoir :

- identifier les aspects ainsi que les impacts environnementaux liés à toute activité.
- analyser les exigences légales.
- aider à mettre en place puis à faire vivre des systèmes de management de l'environnement adaptés qui permettent de :
 - ✓ pallier les impacts ou d'en limiter les effets ?
 - ✓ réduire les émissions polluantes dans les différents compartiments environnementaux (eau, air, bruit, déchets, ...)
 - ✓ d'optimiser les outils de production et leur rapport à l'environnement.



Chapitre 1

Les différentes ressources d'énergie

1. Introduction

Une source d'énergie est obtenue soit :

➤ d'un élément naturel : l'eau, le vent, le soleil, la chaleur du sous-sol.

soit :

➤ d'un phénomène naturel : la combustion, la fission nucléaire, l'activité musculaire.

Le résultat est la production d'une énergie mécanique, thermique ou électrique.

Les principales ressources énergétiques sont :

- Énergies fossiles : gaz naturel, charbon, pétrole.
- Énergie hydroélectrique.
- Énergie éolienne.
- Énergie nucléaire.
- Énergie solaire.
- Énergie géothermique.

On qualifie également l'énergie selon la source d'où elle est extraite ou le moyen par lequel elle est acheminée, en effet il y a :

- Les énergies fossiles.
- L'énergie nucléaire.
- L'énergie de masse.
- L'énergie solaire.
- L'énergie électrique.
- L'énergie chimique.
- L'énergie thermique.
- L'énergie d'origine biomassique.

Il existe des sources d'énergie qui sont régénérées par des processus naturels dans la mesure où on les exploite sans dépasser les limites de cette capacité de régénération :
Ce sont les énergies renouvelables.

Les ressources énergétiques renouvelables sont exploitables sans limite de durée à l'échelle humaine. Toutes les autres ressources énergétiques sont des ressources non renouvelables.

2. Ressources énergétiques

Les ressources énergétiques (sources d'énergie) sont des réserves naturelles d'une forme d'énergie donnée.

2.1. Ressources fossiles

Il s'agit du pétrole, du charbon, et du gaz naturel qui sont des ressources d'énergie appelées fossiles. Les stocks ont été constitués à l'ère primaire (il y a 250 millions d'années). Pendant des dizaines de millions d'années, le rayonnement solaire a permis le développement des plantes et de la biomasse en général; lorsqu'une petite partie de cette biomasse (moins de 1%) s'est trouvée enfouie, elle a pu évoluer jusqu'à former du pétrole, du gaz et du charbon. Le transfert d'énergie à partir de ces ressources nécessite de les brûler : cette combustion est à l'origine de l'augmentation des gaz à effet de serre (CO₂ en particulier) dans l'atmosphère.

Ces ressources assurent actuellement environ les trois quarts de nos usages d'énergie à l'échelle mondiale.

2.2. Ressources fissiles

Il s'agit principalement de l'uranium dont les atomes constituent une ressource d'énergie car leur fission libère de l'énergie. Ils sont extraits d'un minerai.

La quantité d'uranium est donc limitée, les réserves sont estimées à environ 100 ans. Si la fusion nucléaire (ayant lieu dans les étoiles) venait à être maîtrisée et rentable, il serait possible d'avoir une nouvelle ressource d'énergie nucléaire constituée d'atomes tels que le deutérium et le tritium (isotopes de l'hydrogène).

2.3. Vent (Énergie éolienne)

Le vent est un déplacement de l'air dans l'atmosphère. Il résulte, sous l'effet du rayonnement solaire, d'une inégale répartition des conditions de température et de pression dans l'atmosphère ainsi que de la rotation de la terre sur elle-même.

2.4. Biomasse

La biomasse est l'ensemble des matières organiques, essentiellement d'origine végétale, qui peuvent donner lieu à des combustions ou permettent des combustions après transformations chimiques (le méthane formé dans certains cas par la matière organique en l'absence de dioxygène est un bon combustible). Même s'ils sont issus de transformations chimiques de matière organique, les agrocarburants (ou biocarburants) entrent également dans cette catégorie.

2.5. Terre (Énergie géothermique)

Notre planète est un système chaud dont la température est sans cesse maintenue grâce aux éléments radioactifs qu'elle contient. En effet, la terre s'est formée à partir des vestiges d'étoiles ayant explosé à la fin de leurs vies. Parmi les poussières d'étoiles qui se sont accumulées pour former la terre, certaines étaient constituées d'atomes radioactifs.

Les transformations nucléaires spontanées libèrent de l'énergie qui est responsable d'un important échauffement des couches géologiques situées sous la croûte terrestre.

2.6. Soleil (Énergie solaire)

Le Soleil est une étoile naine jaune qui a mis environ 100 millions d'années à se former il y a 4.5 milliards d'années, à partir des nuages d'hydrogène d'une nébuleuse. Au sein du Soleil ont lieu des réactions de fusion nucléaire (l'hydrogène se transforme en hélium) qui libèrent de l'énergie par transfert thermique et par rayonnement.

On prévoit que ce mécanisme se poursuivra encore pendant 5 milliards d'années environ jusqu'à épuisement du stock d'hydrogène et transformation du soleil en géante rouge.

2.7. Eau

L'évaporation de l'eau, par l'action du rayonnement solaire, permet le déplacement de quantités importantes d'eau sous la forme de nuages. Les précipitations permettent de stocker de l'eau en altitude à l'aide de retenues mais aussi d'alimenter les cours d'eau et les lacs. L'eau libérée ou celle des cours d'eau peut faire tourner des turbines dans des centrales hydroélectriques et permettre la production d'électricité (énergie électrique).

2.8. Marées

Les marées sont les mouvements montants et descendants de l'eau des mers et des océans causés par les interactions gravitationnelles entre ces masses d'eau et la lune et le soleil.

Comme pour l'eau des cours d'eau, l'installation de centrales hydroélectriques dans les zones de forts déplacements d'eau permet la production d'électricité. Marées et courants sous-marins sont les seuls cas de ressources qui ne désignent pas de la matière mais un évènement.



Figure 3. Énergies renouvelables dans le monde en 2005
(Source : EconomieSolidaire.com)

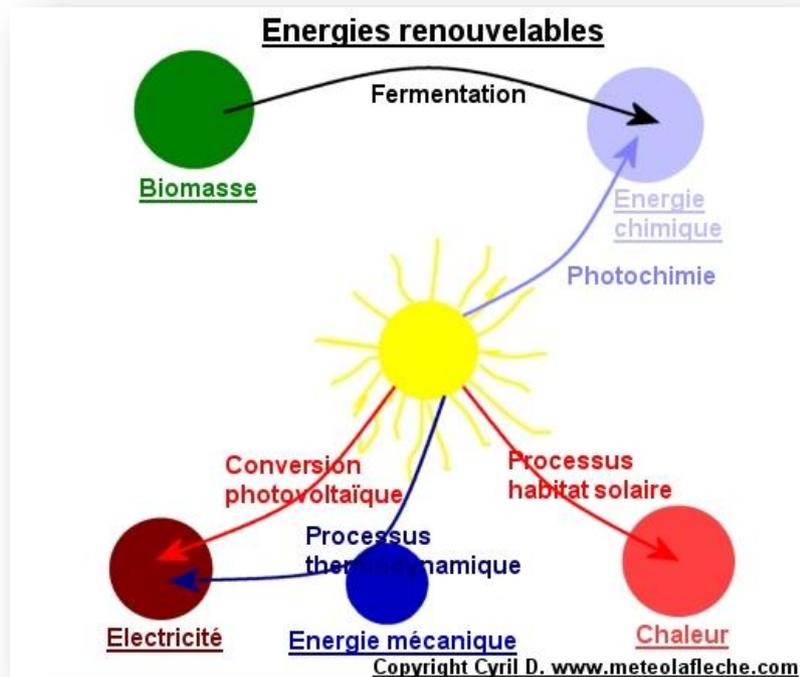


Figure 4. Énergies Renouvelables. (Source : www.meteolafleche.com)

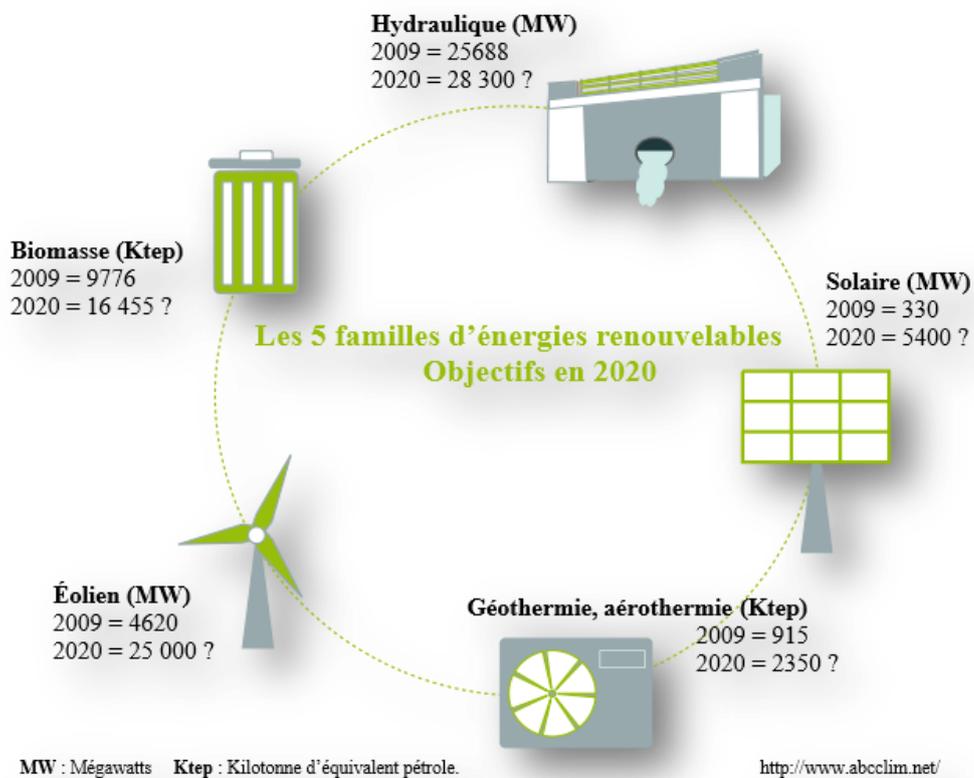


Figure 5. Énergies renouvelables : Objectifs en 2020. (Source : www.abcclim.net)

Chapitre 2

Stockage de l'énergie

1. Introduction

Le stockage de l'énergie est le placement d'une quantité d'énergie en un lieu donné pour une utilisation ultérieure. Cela est nécessaire pour une valorisation efficace qui concerne les énergies alternatives, sûres et renouvelables mais intermittentes (éolien et solaire). Afin de stabiliser les réseaux énergétiques et de lisser les irrégularités de production/consommation dans le contexte de développement des énergies renouvelables, l'alimentation énergétique de sites insulaires ou isolés, le stockage de l'énergie calorifique ou électrique est quasiment nécessaire.

Dans un souci qui concerne l'avenir et la planète, l'humanité doit puiser son énergie à d'autres puits que ceux de pétrole. Mais cette nécessaire transition vers les sources renouvelables, qui fait actuellement l'objet d'un débat national, ne s'opérera qu'à une condition : parvenir à stocker l'énergie. En effet, s'il est aujourd'hui plus ou moins simple de produire de l'électricité, de la chaleur et même de l'hydrogène, stocker durablement ces trois vecteurs d'énergie reste une véritable gageure scientifique et technologique.

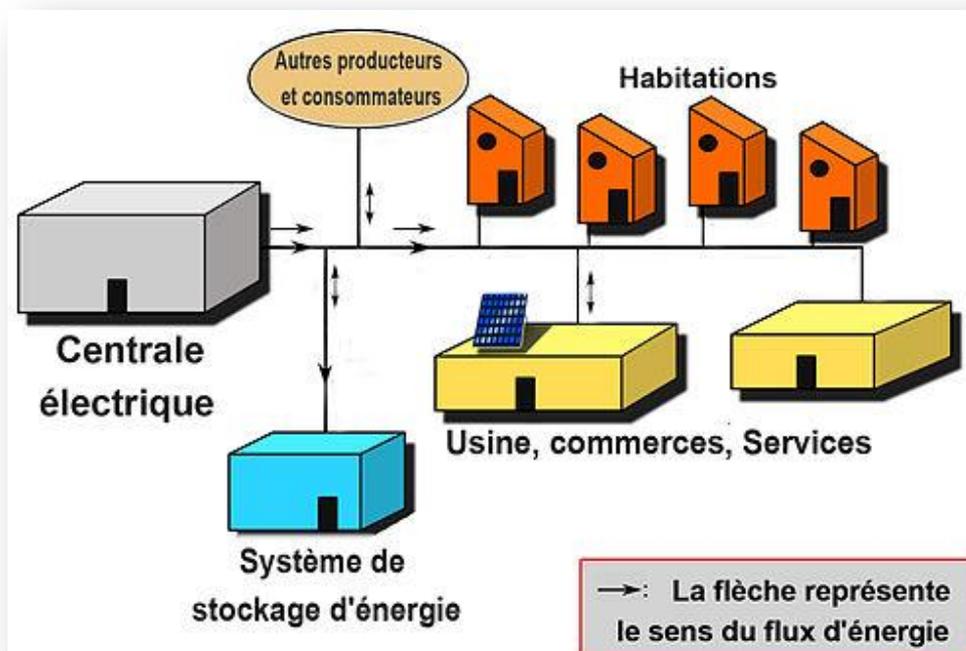


Figure 6. Schéma simplifié et de principe d'un système intégré de stockage dans un réseau électrique, de type « Grid energy storage » (Source : <https://fr.wikipedia.org>)

Le stockage d'énergie de grille (ou stockage à grande échelle d'énergie) est une collection des méthodes employées pour stocker l'énergie électrique à grande échelle au sein d'un réseau électrique.

L'énergie électrique est stockée pendant les périodes où la production (en particulier des centrales électriques intermittentes telles que les sources d'électricité renouvelables comme l'énergie éolienne, la marée et l'énergie solaire) dépasse la consommation et est retournée au réseau lorsque la production tombe en dessous de la consommation.

2. Définitions

Pour la production d'énergie, le stockage est essentiel. Il est connu couramment, dans la littérature, et économiquement chez les spécialistes par « production d'énergie » :

- soit la transformation d'un stock d'énergie potentielle en une énergie directement utilisable pour un travail ou un usage thermique.
- soit la transformation directe de flux d'énergie naturels, flux sur lesquels l'humain n'a aucun contrôle. Ce sont les énergies renouvelables, souvent issues du rayonnement solaire.

Selon les physiciens, il n'y a jamais production d'énergie, mais transformation d'une énergie disponible dans la nature.

En outre, le stockage est la constitution d'un stock d'énergie potentielle à partir de flux d'énergie dont on n'a pas l'usage immédiat, pour en disposer plus tard, quand la demande sera plus importante.

➤ La nature stocke naturellement de l'énergie par exemple avec la biomasse "neuve" (non fossile), le cycle climatique de la terre (pluie, neige...), les marées, ...

Certains stockages naturels n'ont eu lieu qu'à l'échelle de temps géologique (création du charbon, du pétrole et du gaz, formation des étoiles et des éléments radioactifs dans les noyaux des planètes).

Aujourd'hui, les stocks d'énergies fossiles s'épuisent, leur renouvellement étant infinitésimal à l'échelle de temps de la vie humaine, raison pour laquelle ces ressources sont appelées non-renouvelables et fossiles (Voir chapitres 0 & 1).

3. Intérêt du stockage de l'énergie

- ✓ Le stockage d'énergie est un enjeu vital pour les sociétés humaines et l'industrie.
- ✓ L'indépendance énergétique est stratégique et économiquement essentielle.
- ✓ L'énergie doit impérativement être disponible à la demande, sans coupure inopinée. Toute rupture d'approvisionnement a un coût économiques et social élevé et en termes de santé et de sécurité. etc ;

Exemple : une coupure de courant dans un hôpital peut avoir des conséquences désastreuses, ce pourquoi il est muni de plusieurs groupes électrogènes de secours et de stocks de carburant.

En réalité, un stockage d'énergie est utile pour les fins suivantes :

- Sécurisation de l'approvisionnement en énergie d'un pays ou d'un groupe de pays.
- Ajustement de la production d'énergie en fonction de la demande.
- Compensation de l'irrégularité de la production des énergies dites intermittentes.
 - ✓ Besoins quantitatifs
 - ✓ Sécurisation de l'approvisionnement en énergie
 - ✓ Ajustement de la production d'énergie à la demande
 - ✓ Compensation de l'irrégularité de la production des énergies intermittentes
 - ✓ Perspectives économiques et sociétales

4. Efficacité énergétique d'un stockage d'énergie

Sauf pour les moyens naturels de stockage d'énergie ambiante, comme la lumière solaire dans la biomasse, le vent ou la pluie, le stockage d'énergie est associé à l'opération inverse : l'opération consistant à récupérer l'énergie stockée (le déstockage d'énergie). Les deux opérations de stockage/déstockage constituent un cycle de stockage. À la fin d'un cycle, le système de stockage retrouve son état initial; on a alors régénéré le stockage.

- L'efficacité énergétique d'un cycle correspond au rapport entre la quantité d'énergie récupérée sur la quantité d'énergie que l'on a cherché initialement à stocker. Ce rapport est généralement inférieur à 1, sauf pour les moyens naturels de stockage d'énergie ambiante où il peut être considéré comme infini.
- L'efficacité énergétique d'un cycle de stockage d'énergie dépend énormément de :
 - ✓ la nature du stockage

- ✓ la nature et des systèmes physiques mis en œuvre pour le stockage et le déstockage.

5. Grandes formes de stockage

Le stockage est directement lié à l'usage qu'on fait de l'énergie. On peut citer les sections suivantes.

- Stockage de combustible.
- Stockage électrochimique.
- Stockage de calories.
- Stockage mécanique.
- Stockage sous forme d'énergie potentielle de pesanteur.

5.1. Stockage sous forme d'énergie chimique

Le stockage sous forme d'énergie chimique est très utilisé mais ne représente pas le mode de stockage le plus important en termes de MWh.

- Énergie chimique de la biomasse : issue de l'énergie solaire
- Potentiel électrochimique et stockage de l'électricité
- Gaz
- Méthane
- Hydrogène

Stockage d'hydrogène gazeux

Stockage d'hydrogène liquide

Stockage sous forme de composés physiques ou chimiques (libération facile du gaz).

5.2. Stockage sous forme d'énergie mécanique

Le stockage sous forme d'énergie mécanique consiste à transformer l'énergie excédentaire sous forme d'énergie potentielle ou cinétique.

- Stockage sous forme d'énergie potentielle
- Stockage hydraulique
- Masses solides
- Air comprimé
- Azote liquide

- Stockage sous forme d'énergie cinétique

5.3. Stockage d'énergie calorifique

Le stockage de chaleur peut être réalisé à travers deux phénomènes différents associés aux matériaux qui assurent le stockage. On parle alors de stockage par chaleur sensible et de stockage par chaleur latente.

- Le stockage par chaleur sensible
- Le stockage par chaleur latente

Chapitre 3

Consommations, réserves et évolutions des ressources d'énergie

1. Introduction

Les réserves mondiales prouvées d'énergies non renouvelables (fossiles et uranium) pouvaient être estimées en 2015 à 946 milliards de tonne d'équivalent pétrole (tep), soit 80 ans de production au rythme actuel. Cette durée est très variable selon le type d'énergie : 51 ans pour le pétrole, 53 ans pour le gaz naturel, 114 ans pour le charbon. La production mondiale d'énergie commercialisée était en 2015, selon BP, de 13306 Mtep, en progression de 48% depuis 1998 ; elle se répartissait en 32.8% de pétrole, 28.8% de charbon, 24% de gaz naturel, 4.4% de nucléaire et 10% d'énergies renouvelables (hydroélectricité 6.7%, éolien 1.4%, biomasse et géothermie 0.9%, biocarburants 0.6%, solaire 0.4%).

Depuis la révolution industrielle, la consommation d'énergie n'a cessé d'augmenter. Elle a progressé de 122% en 40 ans, de 1973 à 2013. En 2009, à la suite de la crise de 2008, elle n'avait augmenté que de 1%. La consommation énergétique mondiale (énergie primaire) était en 2013, selon l'Agence internationale de l'énergie de 13.59 milliards de tep (6.1 en 1973).

2. Consommation énergétique mondiale

En 2013, environ 28% de l'énergie mondiale finale est consommée par l'industrie, 27% par les transports, et 36% par le résidentiel, le tertiaire et l'agriculture. Les 9% restants correspondent essentiellement au pétrole utilisé pour produire du plastique et au charbon utilisé pour produire de la fonte.

2.1. Consommation énergétique selon le type d'énergie utilisé

Une part importante des énergies primaires sont converties en électricité et donc consommées sous forme d'électricité ou de chaleur. L'Agence internationale de l'énergie fournit les estimations suivantes :

Tableau 1. Production et consommation finale d'énergie selon le type d'énergie utilisé.
(Source : <https://fr.wikipedia.org>)

MTEp	Production d'énergie primaire 1990	Consom. finale 1990	Part dans la consom.	Production d'énergie primaire 2013	Consom. finale 2013	Variation consom. 2013/1990	Part dans la consom.
Pétrole	3 241	2 606	41%	4 216	3 716	+43%	40%
Gaz naturel	1 688	944	15%	2 909	1 401	+48%	15%
Charbon	2 225	766	12%	3 958	1 069	+40%	11%
Nucléaire	526	-	-	646	-	-	-
Hydroélectricité	184	-	-	326	-	-	-
Éolien, solaire, géoth.	37	3	-	162	34	ns	0.4%
Biomasse et déchets	905	792	13%	1 376	1 130	+43%	12%
Électricité	-	834	13%	-	1 677	+101%	18%
Chaleur	-	335	5%	2	273	-19%	3%
Total	8 806	6 281	100%	13 594	9 301	+48%	100%

2.2. Consommation énergétique selon le secteur

L'Agence internationale de l'énergie fournit les estimations suivantes :

Tableau 2. Consommation énergétique selon le secteur.
(Source : <https://fr.wikipedia.org>)

MTEp	Consommation finale 1990	Part dans la consommation	Consommation finale 2013	Variation consommation 2013/1990	Part dans la consommation
Industrie	1 807	29%	2 702	+50%	29%
Transport	1 576	25%	2 564	+63%	28%
Résidentiel	1 528	24%	2 128	+39%	23%
Tertiaire	463	7%	752	+62%	8%
Agriculture + pêche	170	3%	203	+19%	2%
Non spécifié	260	4%	131	-50%	1%
Usages non énergétiques	477	8%	821	+72%	9%
Total	6 281	100%	9 301	+48%	100%

2.3. Consommation d'énergie par habitant

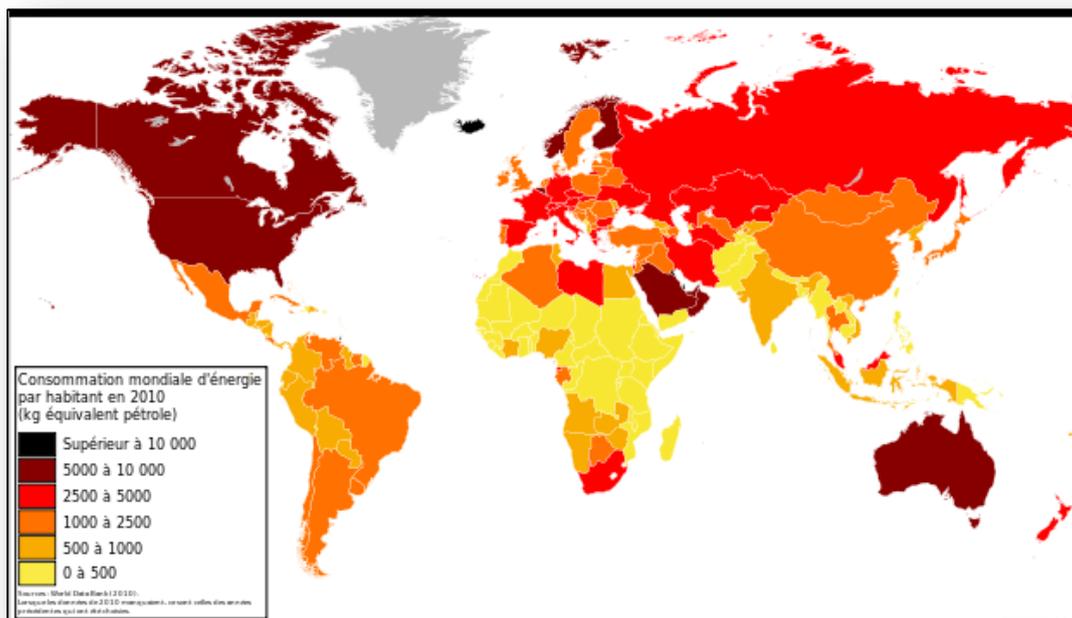


Figure 7. Consommation d'énergie mondiale en 2010 (kg équivalent pétrole par habitant). (Source : World Data Bank 2010)

3. Réserves des ressources d'énergie

Il importe de distinguer les réserves qui sont les quantités que l'on peut produire techniquement et économiquement des ressources qui sont les quantités totales existantes mais qui ne sont pas forcément exploitables. Les prévisions sur les réserves doivent souvent être revues compte tenu des recherches nouvelles et de l'évolution des techniques. Depuis longtemps l'épuisement des réserves pétrolières est programmé mais toujours retardé dans le temps.. Aujourd'hui, les réserves prouvées représenteraient 40 ans de consommation.

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

- l'énergie solaire reçue en un jour par notre planète est environ trente fois supérieure à notre consommation annuelle totale,
- l'énergie nucléaire pourrait devenir quasiment inépuisable si l'on utilisait les filières de surgénération ou de fusion.

Cependant :

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

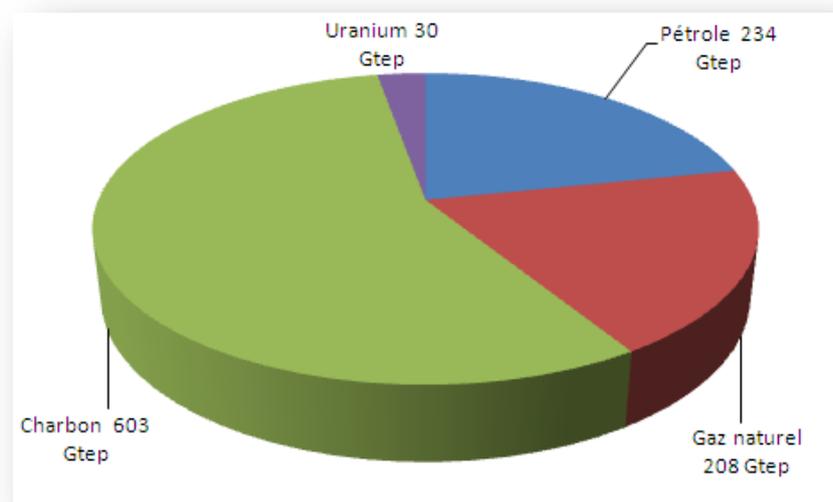


Figure 8. Réserves mondiales d'énergies et production annuelle 2014 par sources d'énergie.
(Source : <https://fr.wikipedia.org>)

Tableau 3. Réserves mondiales d'énergies et production annuelle par sources d'énergie.
(Source : <https://fr.wikipedia.org>)

	Réserves mondiales (en unité physique)	Réserves mondiales (en Gtep)	Réserves mondiales (en %)	Production annuelle (en Gtep)	Nombre d'années de production à ce rythme
Pétrole	1 698 Gbbl	239	25%	4.4	51
Gaz naturel	187 Tm³	168	18%	3.2	53
Charbon	892 Gt	431	46%	3.83	114
Uranium	5.9 Mt	52	6%	0.58	90
Thorium	6.4 Mt	56	6%	ns	ns
Total conventionnel		946	100%	11.8	80
Hydroélectrique	8.9 PWh	2,0		0.89	Ns
Énergie éolienne	39 PWh	8,8		0.15	Ns
Solaire	1 070 000 PWh	92 000		0.03	Ns
Biomasse	3 10²¹ J	70		1.38	Ns

4. Évolutions des ressources d'énergie

- La croissance économique détermine la consommation d'énergie. En moyenne l'économie mondiale devrait croître d'environ 3% d'ici 2020 mais les disparités sont importantes.
- La Chine et l'Inde se situant aux alentours de 5%.
- Les pays en développement de l'ordre de 4 % et les pays de l'OCDE aux environs de 2%.
- L'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) demeurerait la plus riche avec 42% de la richesse mondiale en 2020.
- La croissance économique est liée à la démographie. Les hypothèses de croissance de la population sont de l'ordre de 1% par an. Là encore avec des disparités importantes, la croissance serait beaucoup plus importante dans les pays en développement que dans celle de l'OCDE.
- Les questions démographiques évoluent. La maîtrise de la procréation a entraîné une transformation culturelle de première grandeur dont les effets n'ont probablement pas fini de se faire sentir.
- En Europe, par exemple en Espagne et en Italie, la croissance démographique était encore forte dans les années 50, elle a beaucoup diminué ces dernières années entraînant des changements dans les modes de vie.
- Ce phénomène se développe dans les pays méditerranéens et pourrait s'étendre. Il est prévu une population de 7.4 milliards en 2020...et en 2050 : 8 ou 10 milliards ?

Chapitre 4

Les différents types de pollutions

Chapitre 4 : Les différents types de pollutions

1. Définitions

- On appelle pollution une dégradation ou une altération de l'environnement, en général anthropique c'est-à-dire liée à l'activité humaine par diffusion directe ou indirecte de substances chimiques, physiques ou biologiques qui sont potentiellement toxiques pour les organismes vivants ou qui perturbent de manière plus ou moins importante le fonctionnement naturel des écosystèmes. Outre ses effets sur la santé humaine et animale, peuvent avoir pour conséquences la migration ou l'extinction de certaines espèces qui sont incapables de s'adapter à l'évolution de leur milieu naturel.
- Définition de la pollution donnée par la Directive européenne 2000/60/CE du 23/10/2000 :

"Introduction directe ou indirecte, par suite de l'activité humaine, de substances ou de chaleur dans l'air, l'eau ou le sol, susceptibles de porter atteinte à la santé humaine ou à la qualité des écosystèmes aquatiques ou des écosystèmes terrestres, qui entraînent des détériorations aux biens matériels, une détérioration ou une entrave à l'agrément de l'environnement ou à d'autres utilisations légitimes de ce dernier".

2. Causes de la pollution

La principale cause de la pollution que les humains génèrent est l'utilisation des énergies fossiles dans :

- Les centrales électriques.
- L'industrie.
- Les transports.

Dans les villes des pays industrialisés, ce sont cependant les transports qui sont la première cause de la pollution.

3. Sources de la pollution de l'air anthropique

La pollution d'origine humaine est émise par la combustion des énergies fossiles dans :

- Les centrales électriques.

- Les systèmes de chauffage individuels et collectifs.
- Le trafic automobile.
- L'industrie.
- L'agriculture.

4. Emission et immission

Dans les zones urbaines il y a de nombreuses sources de pollution, mais les polluants qu'on retrouve peuvent provenir de plusieurs endroits différents. Les gaz et les particules peuvent être transportés par le vent loin de leur point d'émission. Lorsque l'on mesure la concentration d'une substance dans l'air, on parle d'immission, c'est à dire qu'en regardant la quantité du polluant on considère le fait que la substance mesurée en un point précis peut provenir de multiples sources et endroits différents.

5. Types de pollution

On distingue plusieurs types de pollutions :

- La pollution de l'air : provoquée par des polluants dits atmosphériques : rejet de pots d'échappement, des usines
- La pollution du sol : souvent d'origine industrielle ou agricole : utilisation d'engrais, de pesticides
- La pollution de l'eau qui peut résulter de :
 - ✓ la contamination des eaux usées,
 - ✓ des rejets de produits (les produits phytosanitaires, ceux présents dans les engrais, les hydrocarbures...).

En effet, les pollutions des eaux sont dues à :

- ✓ l'agriculture (à cause des pesticides et des engrais)
- ✓ des rejets ménagers (médicaments et biocides rejetés via des eaux usées et que les stations d'épuration et le lagunage ne savent pas traiter).

Les phosphates polluent le cours d'eau par un phénomène appelé eutrophisation : le cours d'eau est asphyxié par la prolifération d'algues pour qui le phosphate joue le rôle d'engrais. L'eau est polluée par les marées noires mais surtout par les rejets d'hydrocarbures des bateaux.

5.1. Pollution par type

- ✓ Pollution industrielle,
- ✓ Pollution radioactive,
- ✓ Pollution électromagnétique,
- ✓ Pollution thermique,
- ✓ Pollution lumineuse,
- ✓ Pollution spatiale.

Les industries sont particulièrement touchées par ces mesures. Pour limiter la pollution dont elles sont responsables, elles tentent de :

- réduire leurs émanations toxiques,
- utiliser des moyens de transports moins polluants et des fournisseurs moins éloignés.

Les différentes formes de pollution selon que l'on s'intéresse au milieu pollué ou aux types de polluants : Pollution acoustique - Pollution atmosphérique - Pollution biologique - Pollution chimique - Pollution chronique - Pollution diffuse - Pollution de l'eau - Pollution électromagnétique - Pollution industrielle - Pollution intermittente - Pollution lumineuse - Pollution organique - Pollution radioactive - Pollution du sol - Pollution sonore - Pollution spatiale - Pollution tellurique - Pollution thermique - Pollution visuelle

Chapitre 5

Détection et traitement des polluants et des déchets

Chapitre 5 : Détection et traitement des polluants et des déchets

1. Introduction

La maîtrise de la source de pollution doit être la première option de gestion envisagée car, non seulement, elle participe à la démarche globale de réduction des émissions de substances responsables de l'exposition chronique des populations, mais encore, elle participe à la démarche globale d'amélioration de la qualité des milieux. Par ailleurs, sans maîtrise des sources, il n'est économiquement ou techniquement pas pertinent de chercher à maîtriser les impacts. Si il est impossible d'enlever complètement la source de pollution (après prise en compte des meilleures techniques à un coût économiquement acceptable), il faudra néanmoins garantir que les impacts provenant des sources résiduelles sont maîtrisés et acceptables pour les populations et l'environnement.

2. Détection des polluants

2.1. Dans l'eau et dans les sols

Pour la détection des toxiques dans l'eau, des sociétés mettent au point des outils d'alerte basés sur la mesure du stress de bactéries phosphorescentes. La diminution ou la perte de fluorescence indique la présence d'un toxique. Elle est mesurée automatiquement toutes les minutes pendant un quart d'heure: la pente de la courbe délivrée indique la concentration du toxique.

Pour la mesure de la pollution des sols, les sociétés lancent quatre détecteurs : pour les explosifs, les hydrocarbures, les isolants de transformateur de type PCB et les polycycles aromatiques. Les kits permettent d'effectuer les tests en moins d'une demi-heure.

2.2. Télédétection de gaz atmosphériques

Il ya des laboratoires qui disposent d'un système de télédétection des gaz atmosphériques par émission infrarouge de type scanner. Ce dispositif de détection à distance, le SIGIS 2 (Scanning Infrared Gas Imaging System - Bruker, Ettlingen-

Allemagne) fonctionne en mode passif. Celui-ci ne nécessite pas de source infrarouge artificielle puisqu'il utilise, en tant que source, l'émission naturelle des corps gazeux. Le SIGIS 2 permet la détection à distance (jusqu'à quelques kilomètres), l'identification ainsi que la quantification de tout panache gazeux présent dans l'atmosphère.

Actuellement, la plupart des détecteurs de gaz utilisés sont des capteurs spécifiques fixes, qui n'autorisent que des mesures ponctuelles (en un seul point) et ne permettent de détecter qu'un seul gaz (détecteurs monogaz).

L'avantage du SIGIS2 est d'être un système mobile permettant de détecter spatialement et simultanément plusieurs gaz présents dans un panache (détecteur multi gaz). Grâce à une caméra infrarouge, le SIGIS 2 peut être également utilisé pour des mesures nocturnes.

L'utilisation combinée de 2, voire 3 SIGIS 2, ouvre la voie à la reconstruction en 3 dimensions d'un panache gazeux.

Ce dispositif peut être destiné à tout type d'entreprise ou de site urbanisé ayant la nécessité de contrôler des émissions gazeuses, que ce soit dans une finalité de surveillance environnementale ou dans une finalité de sécurisation de site.



Figure 9. Dispositif de détection des gaz atmosphériques SIGIS 2 Bruker.
(Source: <https://www.bruker.com/fr/products/infrared-near-infrared-and-raman-spectroscopy/remote-sensing/sigis-2/overview.html>)

2.3. Système de mesure de la concentration particulière à l'émission pour les cheminées industrielles

La limitation de plus en plus sévère des niveaux admissibles pour les rejets industriels conduit de plus en plus à remettre en cause les moyens métrologiques utilisés jusqu'à présent sur les cheminées industrielles.

C'est dans ce cadre que l'on a mis au point un nouveau moyen de mesure utilisable par l'industrie afin de rendre la surveillance des émissions à l'atmosphère plus efficace et ainsi de mieux contrôler les process industriels.

L'enjeu est de proposer aux industriels un système capable de mesurer, à la fois les niveaux anormalement élevés mais également les niveaux très faibles, parfois de l'ordre de la centaine de $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en offrant ainsi la possibilité d'anticiper toute dérive par une intervention très en amont. Cette sensibilité élevée permet également d'optimiser les périodes de maintenance et donc les coûts associés.

Types d'entreprises concernées :

- Incinérateurs d'ordures ménagères
- Incinérateurs de déchets spéciaux
- Cimenteries
- Papeteries
- Verreries
- Usines de production

3. Classement des différentes techniques de dépollution

Les différentes techniques de dépollution peuvent être classées en fonction :

- de la nature des procédés employés,
- du lieu de traitement,
- du devenir des polluants.

Il faut noter que la réhabilitation d'un site mettra souvent en œuvre différentes techniques.

3.1. Classement en fonction de la nature des procédés employés

Les différentes techniques de dépollution peuvent être classées en fonction de la nature des procédés employés, à savoir :

- Les procédés physiques : le principe consiste à utiliser des fluides (eau ou gaz), présents dans le sol ou injectés, comme vecteur pour transporter la pollution vers des points d'extraction ou pour l'immobiliser.
- Les procédés biologiques : ils consistent à utiliser des micro-organismes, le plus souvent des bactéries (mais aussi des champignons et des végétaux), pour favoriser la dégradation totale ou partielle des polluants. Certains bioprocédés permettent aussi de fixer ou de solubiliser certains polluants.
- Les procédés thermiques : ils utilisent la chaleur pour détruire le polluant (ex : incinération), l'isoler (ex : désorption thermique, thermolyse, etc.), ou le rendre inerte (ex : vitrification, etc.).
- Les procédés chimiques : ils utilisent les propriétés chimiques des polluants pour, à l'aide de réactions appropriées, les inerte, les détruire ou les séparer du milieu pollué.

3.2. Classement en fonction du lieu de traitement

Les techniques de dépollution peuvent aussi être classées en fonction du lieu de traitement. On distingue les traitements suivants :

- Traitements hors site (ou ex situ) : ils supposent l'excavation/extraction du milieu pollué (déchets, terre, eau) et son évacuation vers un centre de traitement adapté (incinérateur, centre d'enfouissement technique, etc.).
- Traitements sur site (ou on site) : ils consistent à excaver les terres ou les eaux polluées et à les traiter sur le site même.
- Traitements in situ (ou en place) : ils correspondent à un traitement sans excavation : le sol et les eaux souterraines sont laissés en place. Il s'agit alors soit d'extraire le polluant seul, soit de le dégrader ou de le fixer dans le sol.
- Confinement : il consiste à empêcher / limiter la migration des polluants.

3.3. Classement en fonction du devenir des polluants

Les techniques de réhabilitation peuvent être classées en fonction du devenir des polluants. Il existe deux possibilités :

- L'immobilisation : elle met en jeu des techniques qui permettent de modifier la mobilité et / ou la toxicité des polluants par deux types de processus :

- Modification du polluant (changement du comportement, de la toxicité) en agissant sur le niveau d'oxydoréduction, la complexation, la précipitation.
 - Modification du milieu récepteur : réduction de la perméabilité et de la porosité : par solidification ou stabilisation ou par confinement,
- La destruction (totale ou partielle) par les procédés chimiques, thermiques, physiques et biologiques précédemment cités.

Chapitre 6

Impact des pollutions sur la santé et l'environnement

1. Introduction

De nombreuses activités humaines (industrielles, chimiques, agricoles, voire domestiques) sont responsables de dégradations de l'environnement :

- Réchauffement de la planète.
- Changements climatiques et perturbations des écosystèmes.
- Diminution de la couche d'ozone.
- Pollution des sols et des eaux mais également de l'air.

Ces menaces environnementales constituent un risque majeur pour la santé de l'homme (apparition et/ou recrudescence de pathologies diverses : maladies cancéreuses, maladies infectieuses, malformations congénitales, pathologies cardiovasculaires et respiratoires, diminution de la qualité de vie et du bien-être, ...).

2. Effets de la pollution

Les effets de la pollution dépendent de la sensibilité personnelle de l'individu exposé : âge, état de santé, tabagisme, prédispositions.

Selon les experts, ils dépendent également des facteurs suivants :

- Exposition individuelle aux différentes sources de pollution.
- Durée d'exposition à ces niveaux.
- Débit respiratoire au moment de l'exposition.
- Interaction avec d'autres composés présents dans l'atmosphère comme par exemple les pollens, les spores fongiques ...

Il est donc difficile de prévoir l'effet de tel niveau de pollution sur la santé de telle personne.

Il existe toutefois des personnes a priori plus sensibles que d'autres aux effets de la pollution de l'air. Ainsi, les enfants, les personnes âgées, les personnes affectées de maladies respiratoires ou cardiovasculaires et les femmes enceintes constituent en règle générale des populations dites sensibles.

En matière de pollution atmosphérique, il n'existe pas de seuil en deçà duquel les polluants sont sans effet pour la santé. Certaines personnes sont affectées par des niveaux très bas. Il existe un lien statistique à court terme entre les niveaux quotidiens

de pollution, couramment observés dans les grandes agglomérations et certains indicateurs de santé publique (hospitalisations, arrêts de travail, mortalité anticipé, etc.).

Face à ces enjeux sanitaires, les pouvoirs publics définissent des niveaux de pollution au-delà desquels des actions temporaires ou permanentes de réduction des émissions sont mises en œuvre. Il s'agit des seuils d'alerte et des valeurs limites.

3. Impact sur la santé

3.1. Appauvrissement de la biodiversité

Cette transformation du milieu se traduit en général par un appauvrissement de la biodiversité (La biodiversité, au sens étymologique du terme, évoque la diversité du vivant, c'est-à-dire tous les processus, les modes de vie ou les fonctions qui conduisent à maintenir un organisme à l'état de vie. Ce terme est beaucoup trop large pour avoir une véritable connotation scientifique) puis par la perturbation du fonctionnement des écosystèmes (caractérisant un milieu dans lequel les conditions physicochimiques sont relativement homogènes et permettent le développement d'un ensemble d'organismes vivants. Dans un milieu, les conditions climatiques (comme la température, le rayonnement solaire, l'humidité), géologiques...).

L'affaiblissement et la disparition des services écologiques rendus par ces écosystèmes (mécanismes d'épuration, stabilisation des sols, etc.) génèrent une dégradation généralisée du milieu de vie aussi bien pour les organismes que pour l'homme et ses activités.

3.2. Maladies cardio-vasculaires

L'HTA (Hypertension Artérielle), l'hypercholestérolémie et le tabagisme sont les principaux facteurs de risque identifiés dans les maladies cardiovasculaires. D'autres facteurs comme l'obésité, l'inactivité physique, une alimentation trop riche en graisses entrent également en interaction. Toutefois, il semble que les facteurs environnementaux ne jouent pas un rôle prépondérant dans l'apparition de maladies cardiovasculaires, à l'exception de l'exposition au monoxyde de carbone qui pourrait favoriser des arythmies cardiaques et l'aggravation de symptômes angineux. Une exposition excessive et prolongée au bruit auprès de personnes sensibles peut engendrer de l'HTA, des ischémies cardiaques (OMS-1999).

3.3. Cancers

L'apparition des maladies cancéreuses est particulièrement accentuée par différents facteurs à savoir :

- ✓ Le mode de vie (alcool, tabac, alimentation).
- ✓ Les fonctions génétiques
- ✓ Les fonctions hormonales.

Cependant, il ne faut pas négliger d'autres facteurs dont le rôle est moins prépondérant tels que ceux liés à l'environnement, surtout auprès de certaines populations ou/et certaines régions.

Trois sources de contamination majeure sont à citer et sont détaillées ci-dessous (via la consommation d'aliments, via l'air ou via les radiations) :

- ✓ Source 1 : Les aliments (pesticides, polychlorobiphényles, dérivés chlorés,...)
- ✓ Source 2 : L'air (pesticides, hydrocarbures polycycliques aromatiques, tabagisme, benzène, amiante, ...)
- ✓ Source 3 : Les radiations (ionisantes, non ionisantes, ...)

3.4. Maladies respiratoires

Les maladies respiratoires sont particulièrement accentuées par différents facteurs et plusieurs causes à savoir :

- ✓ Les particules en suspension
- ✓ L'oxyde d'azote
- ✓ Le dioxyde de soufre
- ✓ L'ozone troposphérique
- ✓ La pollution à l'intérieur des bâtiments

3.5. Allergies

- ✓ Les pollens (voir figure 10)
- ✓ Les moisissures
- ✓ Les acariens (voir figure 11)
- ✓ Les animaux domestiques, les nuisibles et les insectes rampants

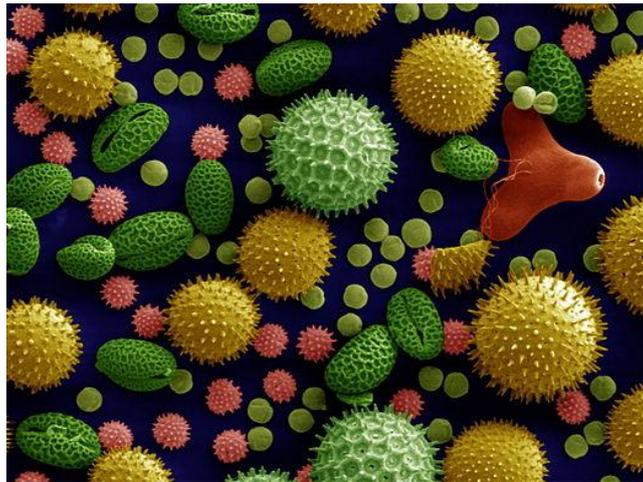


Figure 10. Pollen de plusieurs plantes : tournesol (*Helianthus annuus*), volubilis (*Ipomoea purpurea*), *Sidalcea malviflora*, *Lilium auratum*, onagre (*Oenothera fruticosa*) et ricin commun (*Ricinus communis*).

(Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Pollen>)



Figure 11. Photo d'un acarien.

(Source : <https://www.consoglobe.com/20-astuces-combattre-acariens-cg>)

4. Quantification

En termes de chiffres, le nombre de décès prématurés (ou surmortalité) sont :

- 3.7 millions de décès prématurés en 2012 dans le monde dus à la pollution ambiante de l'air extérieur dans les zones urbaines et rurales (Source : OMS) ;
- 420 000 décès prématurés causés en 2010 par la pollution atmosphérique dans l'UE (Source : Commission Européenne).
- 21400 décès prématurés en UE-25 en 2000 causés par l'ozone troposphérique.

- 13000 décès prématurés par an, dont 24 enfants, causés par les PM2.5 en Belgique en 2000.
- 350 000 décès prématurés (dont 680 enfants) causés par les PM2,5 dans la population de l'UE-25. S'ajoutent à cela des centaines de milliers de cas de bronchites, des milliers d'hospitalisations ainsi que des millions de journées de médication (Source : Programme CAFE).
- Une augmentation à long terme de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des concentrations de PM2,5 dans l'air ambiant provoquerait un accroissement (Source : OMS) :
 - de 6% des risques de mortalité
 - de 12% des risques de maladies cardiovasculaires
 - et de 14% des risques de cancers des poumons
- 7.3% de la mortalité totale serait attribuable à l'exposition chronique aux concentrations en PM10 supérieures à 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Liège en 2004 (Source : APHEIS).

5. Impact sur l'environnement

Il y a beaucoup d'effets de la pollution sur l'environnement, on peut citer :

- Marée noire qui est dangereuse pour les animaux marins.
- Pollution de l'air qui est causée par les pots d'échappement et les fumées d'usines.
- Les C.F.C. (Les chlorofluorocarbures) qui font des trous dans la couche d'ozone.

Qu'elles soient chimiques, physiques ou biologiques, les pollutions entraînent des modifications du milieu. Suivant leurs natures, les pollutions affectent la physiologie et le comportement des organismes exposés ou les caractéristiques des biotopes (milieu de vie délimité géographiquement dans lequel les conditions écologiques (température, humidité, etc.) sont homogènes, bien définies, et suffisent à l'épanouissement des êtres vivants qui y résident (appelés biocénose), avec lesquels ils forment un écosystème...) et donc la composition et la structure des populations.

- Conséquences du trou dans la couche d'ozone

Les substances qui appauvrissent la couche d'ozone (CFC, HCFC, HBFC, halons, CCl_4 , CH_3CCl , CH_3Br ,...) ont des répercussions indirectes sur la santé humaine. En effet, la destruction de cette couche induit une augmentation du rayonnement UV-B nocif au niveau du sol et son trou pourrait contribuer d'une manière ou d'une autre au réchauffement climatique.

- L'augmentation des UV-B au niveau du sol conduit chez l'homme possède :
 - Une augmentation des cancers de la peau.
 - Un risque accru d'être atteint de cataracte.
 - Un possible affaiblissement du système immunitaire tant chez les individus à peau claire que foncée, avec comme conséquence une vulnérabilité plus grande aux attaques des maladies infectieuses.
- Altération des milieux

Autrement-dit, les substances chimiques (métaux lourds, perturbateurs endocriniens, etc.) et les effets physiques (chaleur, lumière, radioactivité) d'une part affaiblissent les organismes et leur capacité à se reproduire et d'autre part altèrent les conditions du milieu (pH, oxygène, ultra-violets...).

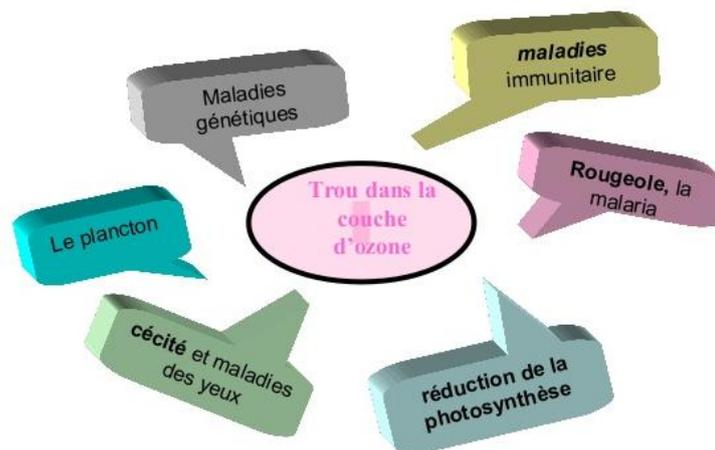


Figure 12. Trou d'ozone : les conséquences sur la terre.
(Source : <https://fr.slideshare.net/unesselhajaoui/trou-dozone>)

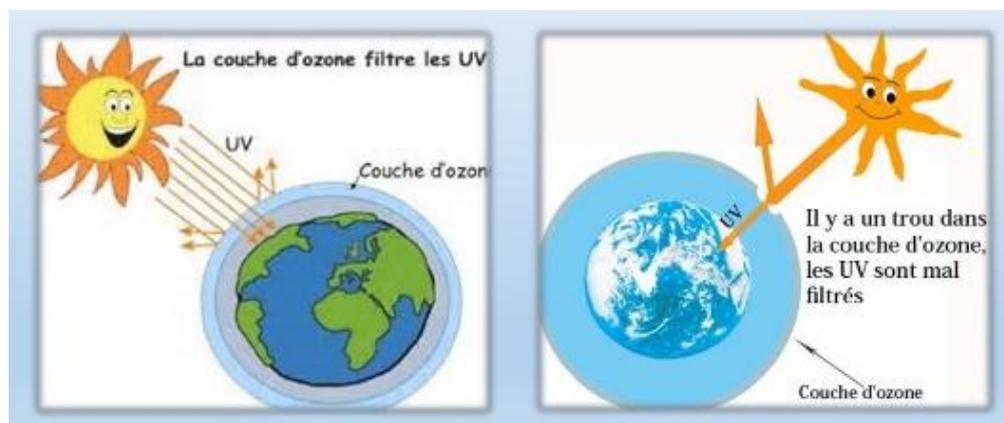


Figure 13. Conséquences de l'appauvrissement de la couche d'ozone.
(Source : <https://fr.slideshare.net/chainreactionfr/prsentation-lyce-episcopal-saintetienne-equipe-2>)

Annexe

Programme officiel de la matière

LMD Sciences et Technologie

Intitulé de la matière : Énergies et Environnement L2

Parcours : 2^{ème} année Sciences et Technologie

Semestre 3 : Famille Électrique

Programme officiel de la matière :

Chapitre 1: Les différentes ressources d'énergie

Chapitre 2: Stockage de l'énergie

Chapitre 3: Consommations, réserves et évolutions des ressources d'énergie

Chapitre 4: Les différents types de pollutions

Chapitre 5: Détection et traitement des polluants et des déchets

Chapitre 6: Impact des pollutions sur la santé et l'environnement.

