

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
ENP D'ORAN – MAURICE AUDIN

---

DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

---



---

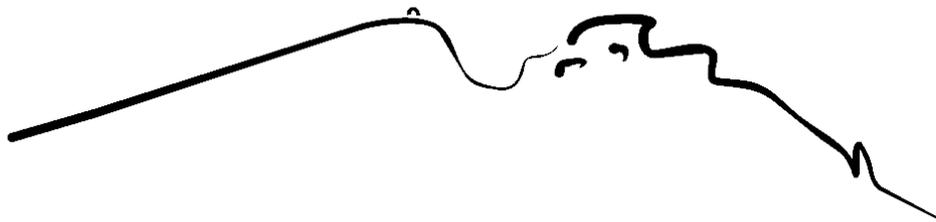
---

# SUPPORT DE COURS N° 1

---

---

Formation d'Ingénieurs  
INTRODUCTION & GÉNÉRALITÉS SUR LES  
ÉNERGIES RENOUVELABLES



## **Introduction**

Dans le monde, il existe différentes sources d'énergies utilisables afin de pouvoir répondre aux nombreuses demandes de la population mondiale, qui elle, augmente de jours en jours. Ces demandes énergétiques concernent les transports, le chauffage, ainsi que l'utilisation du téléphone ou même de la télévision. Cette utilisation de l'énergie a permis une amélioration du niveau de vie des populations des pays développés.

Nous pouvons donc nous demander quelles sont les conséquences ainsi que les problèmes et les bienfaits dus à la consommation énergétique mondiale.

En premier lieu, nous allons présenter les différentes sources d'énergies utilisées avec leurs modes d'utilisation. En second lieu, nous démontrerons les avantages de certaines des énergies utilisées, et pour finir, les conséquences ainsi que les problèmes rencontrés avec d'autres énergies.

Dans ces différentes sources d'énergies, deux sortes se distinguent : les énergies dites non renouvelables et les énergies dites renouvelables. Ces énergies existent sous différentes formes. Elles peuvent être liquides ou gazeuse. Cependant, les énergies les plus utilisées restent non renouvelables à l'image du pétrole ou même du charbon.

### **I) Les énergies**

#### **Qu'est-ce que l'énergie ?**

L'énergie est une notion difficile à appréhender. Elle est stockée dans la matière et ne se manifeste que lorsqu'elle se transforme. C'est à ce moment-là que nous percevons ses effets : la chaleur fournie par une bûche de bois qui brûle, la lumière émise par une lampe ...

L'énergie ne disparaît jamais ; elle se transforme d'une forme en une ou plusieurs autres.

L'énergie est partout. L'énergie est à l'origine de la vie. Sans elle, rien n'est possible. Sans elle, rien ne peut bouger ni se transformer. C'est elle qui permet aux êtres vivants de se développer. C'est elle qui permet de s'éclairer, de se chauffer, de se déplacer.

Ainsi, l'approvisionnement en **sources d'énergie utilisables** est devenu une des préoccupations majeures des sociétés humaines.

#### **Quelles sont les sources d'énergie à notre disposition ?**

Les différentes sortes d'énergie que l'on utilise pour se chauffer, s'éclairer, se déplacer sont représentées ci-dessous. Et dans la mesure du possible, vous noterez les avantages et les inconvénients de chaque source d'énergie.

### **II) Les énergies non renouvelables**

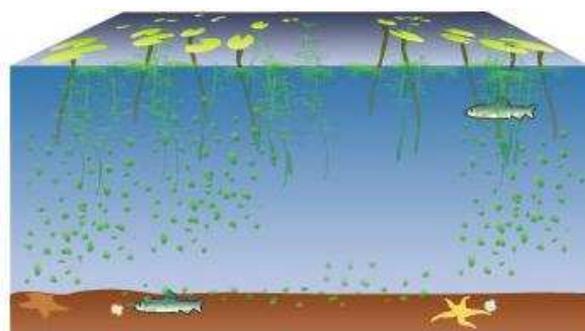
Les énergies dites non renouvelables dans la mesure où elles sont incapables de se renouveler. Certaines des énergies non renouvelables sont appelées des énergies Fossile.

#### **II-1) Les sources des énergies non renouvelables**

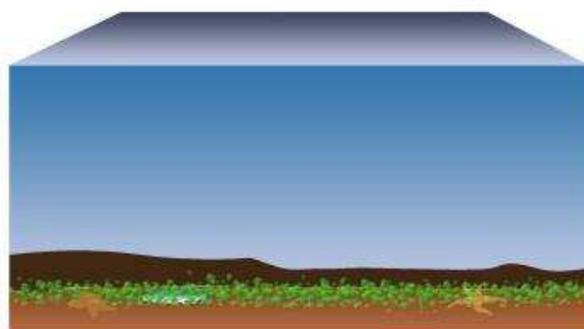
##### **II-1-1) Le Pétrole**

Est une matière organique. Elle est composée de minuscules fragments d'animaux et plantes qui se mêlent aux sédiments. Pour que la roche en vienne à produire du pétrole, la sédimentation doit être riche en matière organique ainsi qu'en oxydation. Puis ils se transformeront en gaz, en huile ou en pétrole durant l'enfouissement. Le produit transformé sera différent selon la profondeur, la durée du séjour et la température à laquelle la matière organique aura été soumise. Le mouvement des

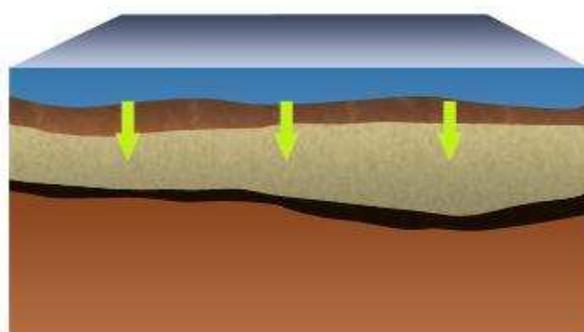
sols entraîne une migration des hydrocarbures jusqu'à ce qu'elle soit retenue par des roches (ou encore remonté jusqu'à la surface de la terre). Malheureusement il est très difficile de déterminer les endroits où il y a la présence d'huile et de gaz. Lorsque l'on arrive à trouver un endroit en présence de pétrole on installe un cheval de pompe qui consiste à puiser le pétrole enfoui sous terre.



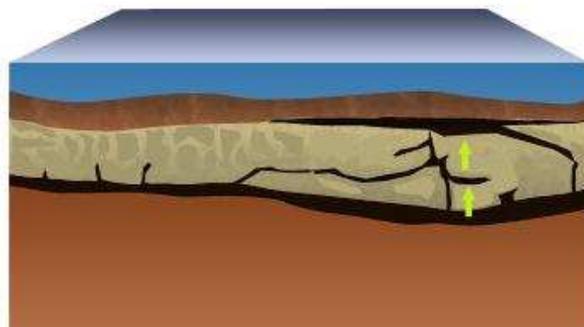
1. Les plantes et les animaux marins meurent et coulent au fond de l'océan



2. La vase recouvre la couche de plantes et d'animaux morts



3. Avec le temps, les sédiments s'accumulent et compriment les plantes et les animaux jusqu'à ce qu'ils se transforment en pétrole.



4. Le pétrole remonte à travers la roche poreuse et forme un réservoir.

**Figure 1.** Processus de formation du Pétrole dans le temps [1]

## II-1-2) Le gaz naturel

Est une énergie primaire, considérée comme étant la plus propre des énergies fossiles de notre époque. Elle est composée d'un mélange d'hydrocarbure ainsi que de méthane. C'est une énergie naturellement connue sous la forme gazeuse étant incolore et inodore étant plus légère que l'air. On

la trouve dans le gisement sec ou dans les gisements mixtes. "La formation du gaz naturel provient de la lente métamorphose de micro-organismes (animaux et végétaux microscopiques) qui constituent le plancton. Ces organismes, déposés au fond des océans en bordure des continents, se sont lentement incorporés aux sédiments pour constituer la roche-mère (ensemble de couches géologiques dans lesquelles se sont formés des hydrocarbures)." Ces micro organismes sont sans cesse recouverts de nouveaux dépôts étant à l'abri de l'oxygène et de la lumière.

### II-1-3) Le charbon

Est une roche sédimentaire exploitée dans des charbonnages en tant que combustible et formée à partir de la dégradation partielle de la matière organique des végétaux. Couvrant 28,6 % des besoins énergétiques mondiaux en 2014, le charbon est actuellement la seconde ressource énergétique de l'humanité, derrière le pétrole (31,3 %), et la première source d'électricité avec 40,8 % de la production en 2014. Près des trois quarts de la consommation mondiale en 2016 sont concentrés sur trois pays : Chine 50,6 %, Inde 11,0 % et États-Unis 9,6 %.

Les réserves mondiales de charbon sont estimées à 1 139,3 Gt (milliards de tonnes) fin 2016, dont 22,1 % aux États-Unis, 21,4 % en Chine, 14,1 % en Russie et 12,7 % en Australie. Elles représentent 153 années de production au rythme de 2016 ; cette production est concentrée à près de 80 % sur cinq pays : la Chine (46,1 %), les États-Unis (10,0 %), l'Australie (8,2 %), l'Inde (7,9 %) et l'Indonésie (7,0 %).



**Figure 2.**

Affleurement naturel d'une veine de charbon bitumineux (sur le littoral de la Nouvelle-Écosse).

Le charbon a été utilisé comme combustible dès le 11<sup>ème</sup> siècle ; son extraction dans les mines a rendu possible la révolution industrielle au 19<sup>ème</sup> siècle.

La combustion du charbon est responsable de 46 % des émissions de CO<sub>2</sub> dues à l'énergie en 2013, contre 34 % pour le pétrole et 20 % pour le gaz naturel. Pour atteindre l'objectif des négociations internationales sur le climat de maintenir la hausse des températures en deçà de 2 °C par rapport à l'ère préindustrielle, il faudrait globalement s'abstenir d'extraire plus de 80 % du charbon disponible dans le sous-sol mondial, d'ici à 2050.

## **II-2) Le vocabulaire de la comptabilité de l'énergie**

L'unité officielle de mesure de l'énergie est le joule. On utilise également, et pas seulement pour l'électricité, le kilowattheure, kWh. 1 million de joules, ou 1 MJ, vaut 0,2778 kWh. Pour des raisons de commodité, les productions et consommations d'énergie "primaire" (avant transformation dans les centrales thermiques à combustibles fossiles produisant de la chaleur et, ou de l'électricité ; les raffineries des produits pétroliers) et d'énergie "finale" (produits énergétiques livrés au consommateur final : combustibles, carburants, chaleur, électricité) sont exprimées dans une unité commune, la tonne d'équivalent pétrole, tep, et son multiple Mtep, le million de tep. 1 tep = 41,8 Giga Joules (Giga : 10 puissance 9).

La comptabilité en tep des combustibles fossiles (ou du bois) pose peu de problèmes : les équivalences en tep sont calculées à partir des pouvoirs calorifiques de ces différents produits énergétiques. Cependant, la production pétrolière est souvent exprimée en "barils par jour" et le coût du pétrole brut en "dollars par baril" : 7,3 barils valent 1 tonne de pétrole et une production de 1 baril par jour équivaut à 50 tonnes par an.

Les productions et les consommations d'électricité sont mesurées en kWh (ou en TWh, teraWh, milliard de kWh). Pour convertir en tep des kWh, les systèmes statistiques internationaux ont adopté, pour la consommation finale d'électricité, la correspondance en unités physiques : 1000 kWh = 0,086 tep ou 1TWh = 0,086 Mtep.

## **II-3) Augmentation de la demande d'énergie**

En 2000, la consommation énergétique mondiale était d'environ une dizaine de Gtep (tep = tonne équivalent pétrole, 1 tep correspond à l'énergie produite par la combustion d'une tonne de pétrole). Les combustibles fossiles représentent environs 8 Gtep.

De très nombreux scénarios énergétiques sont élaborés chaque année par des organismes spécialisés dans le domaine de l'énergie. Ces scénarios pour la demande d'énergie en 2050 vont de 15 à 25 Gtep. Ces scénarios prospectifs se basent sur différents paramètres tels que la croissance économique, l'augmentation de la population mondiale, l'accès progressif à l'électricité des 1,6 milliards de personnes qui en sont encore privés, les besoins croissants des pays en voie de développement et la mise en place de politiques d'économies d'énergie afin de protéger l'environnement. Les incertitudes relatives à l'évolution de ces différents paramètres expliquent l'important écart entre les scénarios extrêmes.

Il est cependant raisonnable de prévoir que d'ici le milieu du siècle, la demande énergétique aura doublé.

## **II-4) Limitation des réserves de combustible fossile**

Cela gêne l'émergence de nouvelles technologies, inévitablement coûteuses au départ. Les réserves connues du pétrole sont d'environ 40 ans de consommation, à consommation

inchangée. Cependant, les avis des experts varient entre 20 ans et 80 ans suivant qu'ils prévoient un accroissement de la consommation ou la découverte de nouvelles réserves.

Les réserves connues de gaz naturel sont de plus de 60 ans à consommation inchangée et l'on trouve chaque année plus de gaz que nous n'en consommons. Mais si l'on remplaçait le pétrole et le charbon par le gaz pour réduire les émissions à effet de serre, les réserves ne seraient plus que de 17 ans. L'abandon du nucléaire au profit du gaz par certains pays pourrait accélérer la consommation des ressources.

Le charbon est le combustible fossile dont les réserves sont les plus importantes. Ces réserves sont estimées à plus de 200 ans.

La demande énergétique jusqu'en 2050 (prévue alors entre 15 et 25 Gtep) pourrait continuer d'être satisfaite en majorité, comme aujourd'hui, par de énergies fossiles, ce qui aurait des conséquences dramatiques sur le climat et ne tiendrait guère compte des besoins des générations futures.

## **II-5) Impact de l'utilisation des énergies non renouvelables sur l'environnement**

L'augmentation de l'effet de serre augmente la température globale de la surface de la planète. Or, du fait de l'activité humaine, la concentration des gaz à effet de serre a explosé depuis la période préindustrielle (1750-1800). La concentration de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), principal gaz à effet de serre, a augmenté de 30% depuis l'ère préindustrielle. Les effets combinés de tous les gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, méthane, ozone,...) équivalent aujourd'hui à une augmentation de 50% du CO<sub>2</sub> depuis cette période.

Depuis 1860, la température moyenne à la surface de la terre a augmenté de 0,6°C. Différents scénarios prospectifs prévoient que d'ici 2100, cette température devrait encore augmenter entre 1,5 et 6°C si les filières énergétiques et les habitudes de consommation actuelles ne sont pas modifiées. Cette augmentation considérable s'accompagnerait, en particulier, d'une montée du niveau des mers de 20 cm à 1 m. Si l'évolution du climat apparaît irréversible, il est possible de ralentir cette évolution en diminuant de manière significative les émissions de gaz à effet de serre.

Les puits naturels de CO<sub>2</sub> que sont les sols, les arbres et les océans ne seraient capable de résorber qu'un peu moins de la moitié de la production de CO<sub>2</sub> d'origine humaine (produite en 2000). Afin de stabiliser la concentration de CO<sub>2</sub> à son niveau actuel, il faudrait donc réduire immédiatement de 50 à 70% les émissions de ce gaz. Si cette réduction brutale est impossible, il est cependant urgent d'agir, car on se trouve face à un problème cumulatif. En effet, la durée de vie du gaz carbonique dans l'atmosphère étant de l'ordre du siècle, il faudra plusieurs générations pour obtenir la stabilisation des concentrations de CO<sub>2</sub> à un niveau acceptable.

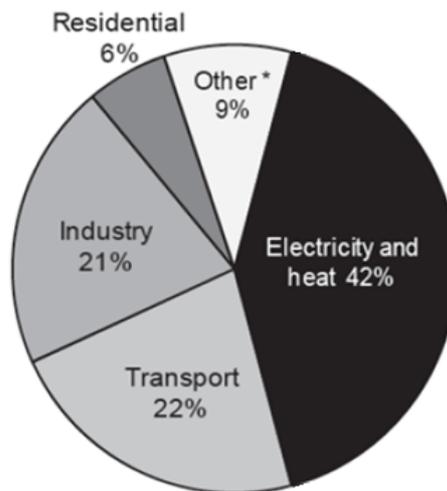
Le CO<sub>2</sub> est produit par la combustion de tous les combustibles fossiles : pétrole, gaz et charbon. Les rejets de CO<sub>2</sub> sont environ deux fois plus importants pour le charbon que pour le gaz naturel, ceux liés au pétrole se situant entre les deux.

Au début des années 2000, la répartition par secteur des émissions de CO<sub>2</sub> dans le monde est la suivante : production électrique 39%, transport 23%, industrie 22%, résidentiel 10%, tertiaire 4% et agriculture 2%. Cette répartition est cependant très différente d'un pays à l'autre. Par exemple, en France où seulement un dixième de l'électricité est produite à partir de combustibles fossiles, le secteur des transports est responsable de plus de 40% du CO<sub>2</sub> émit dans l'atmosphère.

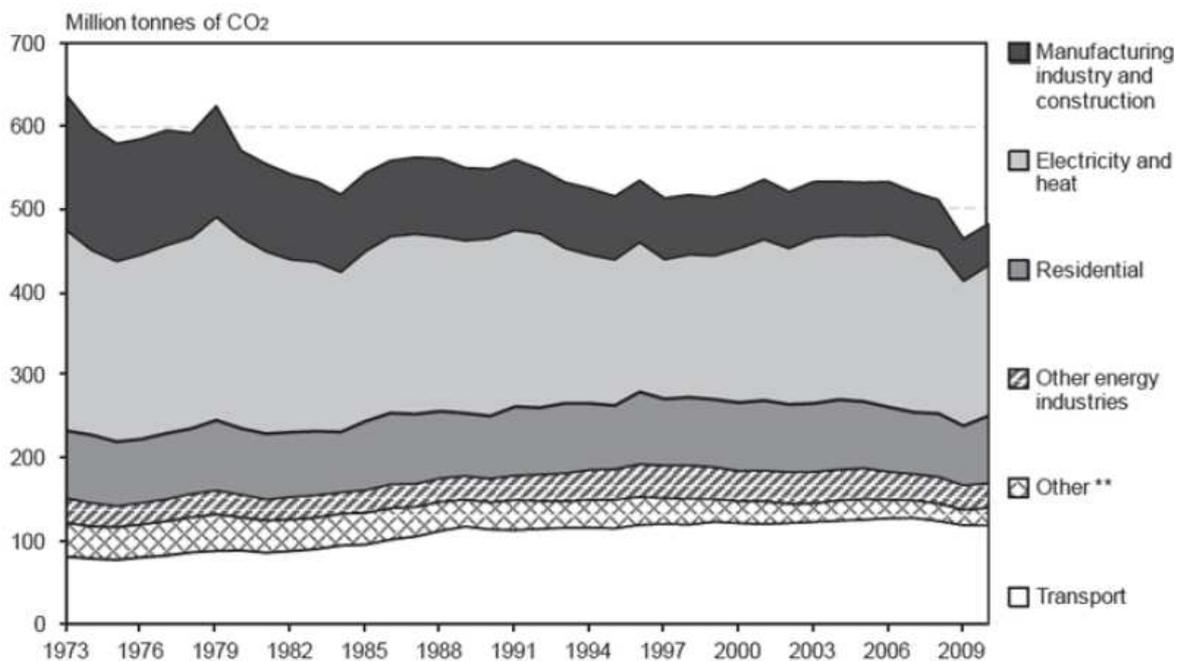
### **Exemple**

Selon une étude menée par l'Agence internationale de l'énergie (AIE) en 2013, seul le transport était responsable de 22% des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie (voir la figure 3). Cette

proportion pourrait devenir encore plus grande lorsque d'autres secteurs industriels partagent cette responsabilité (voir la figure 4). Dans le secteur des transports, il a été observé que le transport routier contribue à plus de 72% de l'émission totale. Par exemple, en Royaume-Uni, le gouvernement s'est engagé à atteindre un objectif ambitieux de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) de 50% d'ici 2027 et de 80% d'ici 2050 en prenant comme repère l'année de 1990 (AIE, 2012a). Pour atteindre cet objectif, sans parler des répercussions négatives du développement technologique, le gouvernement du Royaume-Uni a mis sur place une politique objective et ferme.



**Figure 3.** Émissions mondiales de CO2 par secteur en 2011 (IEA, 2013) [2] et [3]



**Figure 4.** émissions de CO2 par secteur, 1973 à 2010 (IEA, 2012a) [2]

## **II-6) Contexte**

C'est en 1986 qu'a été défini le concept du développement durable comme suit : « satisfaire les besoins du présent sans hypothéquer la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins ».

Ce concept implique de s'intéresser au développement de nouvelles sources d'énergie et de minimiser les rejets affectant l'environnement. Les combustibles fossiles apparaissent comme une ressource finie et économiquement limitée, induisant des émissions affectant l'environnement et contribuant au changement climatique. Un système énergétique durable doit intégrer des sources d'énergies renouvelables et des chaînes combustibles à faible émissions, accessibles à des coûts acceptables. Malgré le fait que la mise en place de nouvelles infrastructures énergétiques prend plusieurs décennies, un nombre croissant de grandes compagnies s'impliquent dans le développement et la commercialisation de ces nouvelles technologies.

Le développement durable nécessite de gérer l'équilibre entre le développement économique, l'équité sociale et la protection de l'environnement dans toutes les régions de la planète. Ce concept ne peut donc se concrétiser sans une réelle volonté politique d'un nombre croissant de pays.

## **II-7) Engagements et perspectives**

### **Protocole de Kyoto :**

En 1997, le protocole de Kyoto a fixé comme objectif de réduire de 5,2% les rejets de gaz à effet de serre du monde vers 2010 par rapport à 1990. L'Union Européenne s'est engagée à une réduction de 8% de ses émissions pour 2010, et chacun de ses membres s'est vu attribuer son propre quota de réduction de ses émissions en tenant compte des particularités de chaque pays. Plus de la moitié des pays doivent réduire leurs émissions (Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Italie, Luxembourg, Pays-Bas), certains pays doivent stabiliser leurs émissions (France, Finlande), tandis que d'autres pays sont autorisés à accroître leurs émissions (Grèce, Irlande, Portugal, Espagne, Suède).

Pour cesser à l'horizon 2050, d'augmenter la concentration de gaz carbonique présent dans l'atmosphère, il faudrait diviser par deux nos émissions actuelles au niveau planétaire et donc les diviser par 3 à 5 dans les pays développés [3].

## **III) Les énergies renouvelables**

Les énergies sont dites renouvelables dans la mesure où elles sont capables de se renouveler assez rapidement. Ces énergies sont parfois considérées comme inépuisables à l'échelle du temps (échelle humaine). On parle aussi d'énergies nouvelles non traditionnelles.

Les énergies renouvelables proviennent de 2 grandes sources naturelles : le Soleil (à l'origine du cycle de l'eau, des marées, du vent et de la croissance des végétaux) et la Terre (qui dégage de la chaleur).

Surnommées « énergies propres » ou « énergies vertes », leur exploitation engendre très peu de déchets et d'émissions polluantes mais leur pouvoir énergétique est beaucoup plus faible que celui des énergies non renouvelables.

Les énergies renouvelables sont, à notre échelle de temps, celles qui sont dispensées continûment par la nature. Elles sont issues du rayonnement solaire, du noyau terrestre et des interactions

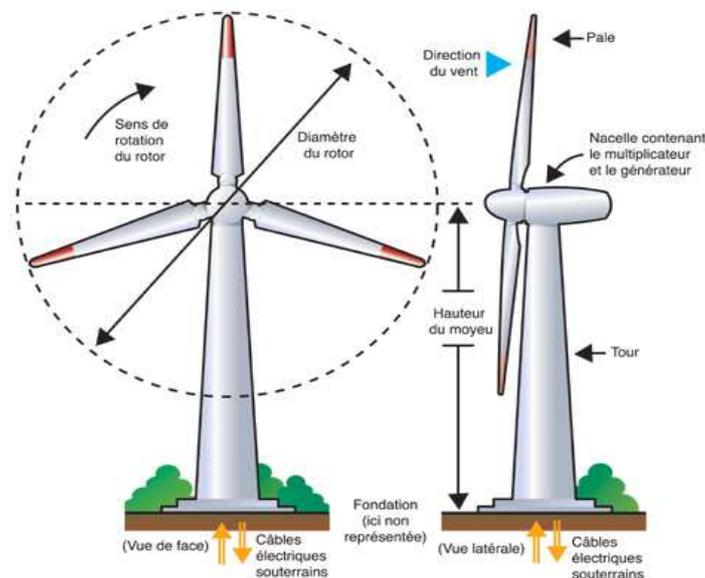
gravitationnelles de la lune et du soleil avec les océans. On distingue les énergies renouvelables d'origine éolienne, solaire, hydraulique, géothermique et issues de la biomasse.

### III-1) Les sources des énergies renouvelables

Comme il a été cité auparavant, de nos jours, cinq énergies renouvelables sont exploitées :

#### III-1-1) Énergie éolienne

L'énergie du vent est la plus souvent utilisée dans le monde. Les éoliennes sont implantées dans des zones venteuses ou dans d'immenses champs, par petit groupe. Dans certains pays nordiques, les éoliennes sont érigées en mer au large, là où le vent ne cesse jamais de souffler. (Comme par exemple au Danemark où elle est la plus exploitée).



**Figure 5.** Schéma d'ensemble d'une éolienne

En théorie, l'énergie d'origine éolienne pourrait satisfaire la demande mondiale d'électricité. Cependant, le principal inconvénient de cette source d'énergie est l'instabilité du vent. Les périodes de grand froid, comme de canicule, qui se traduisent par une demande accrue d'énergie s'accompagnent fréquemment de vent faible, voire nul. C'est pourquoi, un développement important de l'éolien est envisageable en l'associant avec d'autres sources d'énergie renouvelable moins aléatoire ou des sources conventionnelles, ou encore en y associant des systèmes de stockage de l'énergie électrique. Cependant, si les concepts permettant le stockage de l'énergie électrique en grande quantité existent, leur mise en œuvre nécessite encore certains progrès technologiques et une baisse des coûts.

L'Europe ne représente que 9% du potentiel éolien disponible dans le monde, mais 72% de la puissance installée en 2012. Elle a produit 50 TWh d'électricité d'origine éolienne en 2012, pour une production mondiale de 70 TWh. La ressource éolienne techniquement disponible en Europe serait de 5000 TWh par an.

La ressource éolienne disponible est évaluée à l'échelle mondiale à 57 000 TWh par an. La contribution de l'éolien off shore (en mer) est estimée de 25 000 à 30 000 TWh par an en se limitant aux sites dont la profondeur n'excède pas 50 m. La production mondiale d'électricité en 2000 était

de 15 000 TWh (ce qui correspond à une énergie primaire consommée de 40 000 TWh suite au faible rendement des cycles thermo-mécaniques de 30 à 40%).

#### ***a) L'énergie hydrolienne***

Fonctionne de la même façon que les éoliennes sauf que ce sont les courants maritimes qui entraînent les turbines et non pas le vent. Ce même système est aussi utilisé avec les marées. Cependant, cette énergie n'est pas toujours utilisée, elle reste encore "inconnue" en France. Seul un plan d'installation pour celle-ci a été proposé en 2009 pour la France. Sa capacité énergétique reste également inconnue, mais la France espère pouvoir installer d'ici 2020 au moins 6000 MW d'énergie. L'énergie hydrolienne, est aussi appelée "énergie bleue". En théorie, cette énergie pourrait fournir 30 000 GTep grâce au rayonnement solaire en surface.

### **III-1-2) Énergie solaire**

La durée de vie du soleil est d'environ 5 milliards d'années, ce qui en fait à notre échelle de temps une énergie inépuisable donc renouvelable. L'énergie totale reçue à la surface de la terre est de 720.10<sup>6</sup> TWh par an. Mais la disponibilité de cette énergie dépend du cycle jour-nuit, de la latitude de l'endroit où elle est captée, des saisons et de la couverture nuageuse.

#### ***a) L'énergie solaire thermique***

Pour utiliser l'énergie solaire thermique, on doit installer des panneaux solaires sur le toit des habitations. Ces panneaux pourront ainsi réfracter la chaleur des rayons du soleil afin de permettre le réchauffement du fluide caloporteur de l'information. L'information sera ensuite transmise à un ballon tampon qui permettra l'échange avec les dispositifs de chauffage ou de l'eau chaude sanitaire.

#### ***b) L'énergie solaire photovoltaïque***

L'énergie solaire photovoltaïque a le même principe de fonctionnement que l'énergie solaire thermique, excepté qu'une fois que les rayons du soleil sont captés par les capteurs solaires, l'énergie est dirigée vers un convertisseur de production par des tubes sous vides en cuivres. L'énergie est ensuite envoyée vers les villes. L'utilisation de cette énergie permet de faire d'importantes économies et ainsi d'alimenter les habitations en électricité.

Les principaux freins à l'utilisation massive du solaire photovoltaïque (et thermique) sont la disponibilité de la puissance fournie qui contraint au stockage de l'électricité pour une utilisation autonome ou à l'utilisation de solutions énergétiques complémentaires, d'une part, et de la compétitivité économique, d'autre part.

### **III-1-3) Énergie hydraulique**

L'énergie hydraulique représente environ 19% de l'électricité produite dans le monde, et 13% en France. On observe une légère augmentation entre 2010 et 2009, elle est passée de 17% à 19%. C'est une énergie dite propre qui est l'une des sources d'énergie les plus utilisées dans le monde, bien que tout son potentiel énergétique ne soit pas encore exploité.

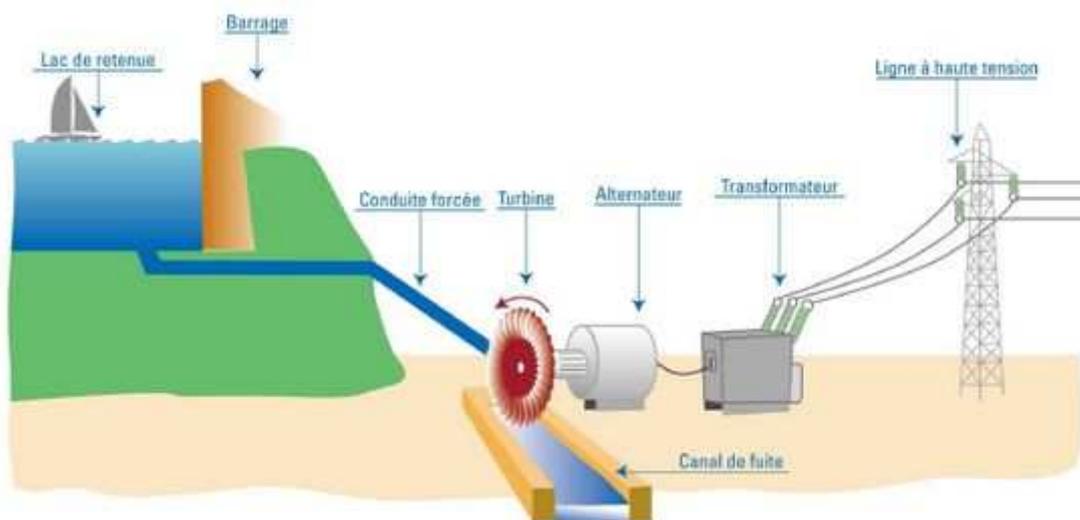
L'énergie hydraulique est exploitée grâce à des barrages ou bien par le billet de dynamos (d'immenses réservoirs alimentant l'électricité des villes pratiquement sans polluer.)

On dit que les centrales hydrauliques sont dites de basses chutes si elles sont situées sur un grand fleuve ayant une faible pente mais un très fort débit. L'électricité est donc produite en continue. Des barrages sont installés permettant ainsi de dériver l'eau vers la centrale. Des écluses sont également installées afin de ne pas interrompre le trafic fluvial.

Une fois l'eau placée dans la centrale, on déplace les aubes du distributeur qui est ensuite amené sur une turbine d'un type Kaplan. Cette turbine est constituée de "palle" ayant une orientation aidant à avoir un bon rendement.

Grâce à sa rotation, la turbine entraîne un alternateur qui produira l'électricité. Pour finir, l'énergie produite est envoyée vers un réseau de transfert d'électricité par l'intermédiaire d'un transformateur.

L'hydraulique est actuellement la première source renouvelable d'électricité. Le potentiel mondial pourrait cependant être davantage exploité. La production mondiale au début des années 2000 est de 2700 TWh par an, avec une capacité installée de 740 GW. Elle pourrait passer à 8100 TWh à l'horizon 2050 avec un doublement économique compétitif de la capacité installée. 14 000 TWh seraient techniquement exploitables et le potentiel théorique serait de 36 000 TWh.



**Figure 6.** Schéma d'une centrale hydraulique

**a) La grande hydraulique** (d'une puissance supérieure à 10 MW) est exploitée au voisinage du maximum de son potentiel dans les pays industrialisés. Les barrages permettent de stocker l'énergie et de la fournir dans les moments de forte demande. Dans certains cas, des bassins de stockage haut et bas permettent d'effectuer un véritable stockage d'énergie en utilisant des groupes turbo-alternateurs réversibles qui réalisent le pompage en période creuse. Cette forme de stockage est très utilisée dans le monde. En France, 4200 MW sont installés pour cette fonction.

**b) La petite hydraulique** (d'une puissance inférieure à 10 MW) est constituée en partie de centrales au fil de l'eau qui sont fortement dépendantes du débit des cours d'eau. Ces petites centrales sont attractives pour une production décentralisée. La production mondiale est estimée à 85 TWh. En France, alors que la grande hydraulique a quasiment atteint la saturation, il reste un potentiel

d'évolution de la petite hydraulique estimé à 4 TWh/an provenant d'un tiers de l'amélioration des installations existantes, et pour les deux tiers restant de nouvelles installations.

*c) L'énergie des marées* peut être utilisée pour produire de l'électricité. En France, l'usine marémotrice de la Rance (240 MW) a montré la faisabilité de cette technique de production d'électricité. D'autres projets importants sont à l'étude au Canada et en Angleterre. Mais la réalisation de ces projets n'est pas certaine, car ils modifieraient considérablement les écosystèmes locaux.

*d) La houle* représente un immense gisement d'énergie. La puissance moyenne annuelle sur les côtes de la façade Atlantique est comprise entre 15 et 80 kW/m de côte. L'énergie des vagues est très diluée et n'est pas encore exploitable à grande échelle. Des prototypes de centrales houlomotrices sont cependant testés.

#### **III-1-4) La géothermie**

La température de notre planète augmente considérablement lorsque l'on se rapproche de son centre. Dans certaines zones de notre planète se trouve en profondeur de l'eau à température élevée. La géothermie haute température (150 à 300°C) consiste à pomper cette eau vers la surface, à produire de la vapeur via des échangeurs pour ensuite turbiner cette vapeur comme dans les centrales thermiques classiques et ainsi produire de l'électricité.

Les ressources *géothermiques* à basse température (inférieure à 100°C) sont valorisées avec des pompes à chaleur pour les besoins de chauffage.

Le potentiel de la géothermie naturelle est cependant limité, car il existe de nombreux sites où la température est élevée (supérieure à 200°C) mais sans eau. Cette ressource thermique peut être exploitée au moyen de la technologie dite des « roches chaudes et sèches » en cours de développement. Elle consiste à injecter par un premier puit de l'eau sous pression dans des zones profondes (supérieures à 3000 m) de roches fracturées. Cette eau réchauffée remonte par un second puit et permet de produire de l'électricité comme dans les centrales thermiques classiques. Toutefois, la part de ce potentiel qui sera techniquement accessible n'est pas encore précisée.

#### **III-1-5) Énergie biomasse**

Issue d'une matière organique qui a fermenté, produit du gaz qui peut être utilisé pour produire de l'électricité ou de la chaleur. Les centrales à biomasse fonctionnent grâce aux déchets forestier, agricole ou encore aux ordures ménagères.

Il existe trois familles pour la biomasse :

*A) La biomasse lignocellulosique (ou lignine)* comprenant principalement le bois, les résidus verts, ainsi que la paille. Leur utilisation est faite à partir d'une combustion, ou conversions thermochimiques.

##### **B) La biomasse à glucide**

Utilisant la canne à sucre, les céréales et les betteraves sucrières. On favorise ces constituants par une méthanisation (C'est un processus naturel biologique de dégradation de la matière organique en l'absence d'oxygène), ou encore par distillation, conversions biologiques.

### C) La biomasse oléagineuse

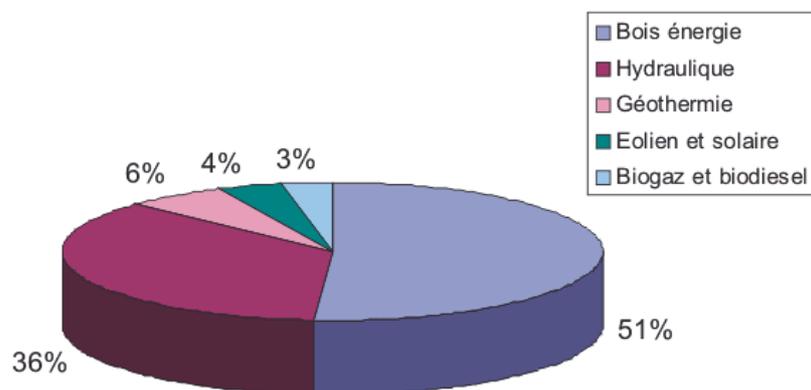
Qui est riche en lipide. Ses composants sont le colza, ainsi que le palmier à huile. Cette catégorie de biomasse est appelée "Biocarburants". Ces carburants sont récoltés suite à de nouvelles transformations chimiques, et en ressort sous deux formes : Les esters d'huile végétale et de l'éthanol.

Ces matériaux sont employés en tant que combustibles dans la production de la chaleur, de carburants ou même d'électricité. En écologie, on dit souvent que la biomasse est la masse totale (en quantité de matières) de toutes les espèces vivant dans un milieu naturel donné.

Les principaux utilisateurs de cette énergie biomasse, sont les États-Unis, avec 30,7% de production à l'échelle mondiale, juste devant l'Allemagne.

### III-2) Contribution des différentes énergies renouvelables

En 2012, les parts des différentes filières renouvelables dans la production d'énergie primaire de l'Union Européenne étaient les suivantes :



**Figure 7.** Différentes filières renouvelables dans la production d'énergie primaire de l'Union Européenne [4]

### III-3) Aperçu sur les avantages et inconvénient des sources d'énergies

**Tableau 1.**  
Pourcentages, avantages et inconvénient des sources d'énergies

Source d'énergie	Avantages	Inconvénients
Fossiles (79%) : - Pétrole - Gaz - Charbon	Faciles à exploiter	Production de CO <sub>2</sub> Épuisable
Nucléaire (7%)	Moins cher aujourd'hui. Moins de CO <sub>2</sub>	Épuisable Déchet radioactifs Risque d'accident nucléaire.
Renouvelables (14%) : - Eau (Hydraulique) - Soleil (thermique et photovoltaïque) - Vent - biomasse (bois, plantes..) - Géothermie	Inépuisables à notre échelle. Peu ou non polluantes	Ne peuvent être implantée de partout. Coût plus élevé. Faible puissance. Fabrication recyclage des cellules photovoltaïque

**Remarque :**

*Le bois, l'énergie solaire, l'hydroélectricité et l'éolien sont issus de l'énergie solaire. Seules la géothermie et l'énergie marémotrice échappent à cette règle.*

*Le pétrole, le gaz naturel et le charbon ne sont pas des énergies renouvelables : il a fallu des millions d'années pour que la vie sur Terre constitue les stocks d'énergie fossile que l'on consomme actuellement. De même, l'énergie nucléaire issue de la fission des atomes d'uranium, ne peut pas être considérée comme une énergie renouvelable, l'extraction de l'uranium étant limitée.*

---

# **Annexe**

---

**Tableau 2.**  
Répartition de l'emploi par filière d'énergie renouvelable et par État membre de l'Union européenne, en équivalents temps plein (2012) [4]

	Eolien	Biomasse solide	Photovoltaïque	Biocarburants	Pompes à chaleur	Biogaz	Solaire thermique	Petit hydraulique	Déchets	Géothermie	Total
Allemagne	117 900	50 000	87 800	22 700	12 500	51 000	12 700	7 200 <sup>1</sup>	5 200	1 400	368 400
France	20 000	48 000	39 000	30 000	30 850	3 200	8 200	3 860	3 700	1 200	188 010
Italie	40 000	12 200	16 000	5 270	10 500	5 000	4 350	2 730	950	5 500	102 500
Espagne	30 000	14 500	12 000	9 435	4 500	520	4 500	1 500	855	< 100	77 910
Danemark	40 500	3 250	7 000	770	2 700	200	1 500	< 50	2 500	< 100	58 570
Royaume-Uni	20 500	7 050	12 500	4 420	1 600	3 500	900	1 000	2 000	< 50	53 520
Suède	5 100	28 350	600	4 140	8 500	250	150	520	2 900	< 100	50 610
<b>Belgique</b>	<b>4 000</b>	<b>3 300</b>	<b>20 500</b>	<b>9 920</b>	<b>600</b>	<b>300</b>	<b>600</b>	<b>400</b>	<b>180</b>	<b>&lt; 50</b>	<b>39 850</b>
Autriche	3 900	18 600	4 850	4 580	1 130	1 900	3 400	1 050	150	< 50	39 610
Pologne	2 815	20 500	420	5 480	560	320	2 540	950 <sup>1</sup>	50	200	33 835
Grèce	1 500	3 000	23 500	490	0	115	3 000	1 250	n.c.	150	33 005
Finlande	500	23 500	< 50	1 540	5 000	80	< 50	375	250	0	31 345
Pays-Bas	3 500	3 300	7 500	700	5 000	600	350	200	4 500	400	26 050
Portugal	2 700	7 025	3 500	1 830	700	120	1 100	1 750	300	< 100	19 125
Bulgarie	830	2 925	10 000	790	2 400	< 50	100	420	n.c.	< 50	17 565
Roumanie	5 000	10 410	< 50	925	0	< 50	200	450	n.c.	200	17 285
République tchèque	500	6 460	1 500	2 925	700	1 000	1 000	300	100	< 50	14 535
Hongrie	150	4 300	750	4 230	< 50	130	200	400	50	850	11 110
Slovaquie	< 50	2 150	2 000	2 590	< 50	60	500	300	< 50	170	7 920
Lettonie	100	5 200	< 50	570	0	60	< 50	350	< 50	0	6 430
Slovénie	< 50	1 760	2 400	200	480	130	150	385	< 50	< 100	5 705
Estonie	700	3 040	< 50	< 50	1 200	< 50	< 50	< 50	n.c.	0	5 190
Lituanie	400	2 975	100	840	< 50	< 50	< 50	150	n.c.	< 100	4 715
Irlande	2 500	100	< 50	310	100	110	200	115	< 50	0	3 535
Chypre	150	< 50	250	< 50	0	< 50	500	0	n.c.	0	1 050
Luxembourg	100	150	100	200	0	< 50	< 50	< 50	< 50	0	750
Malte	0	0	< 50	0	0	0	< 50	0	n.c.	0	100
<b>Total UE</b>	<b>303 445</b>	<b>282 095</b>	<b>252 570</b>	<b>114 955</b>	<b>89 170</b>	<b>68 895</b>	<b>46 440</b>	<b>25 805</b>	<b>23 935</b>	<b>10 920</b>	<b>1 218 230</b>

**Tableau 3.**  
Répartition du chiffre d'affaires, par filière d'énergie renouvelable et par État membre de l'Union européenne, en millions d'euros (2012) [4]

	Eolien	Photovoltaïque	Biomasse solide	Biocarburants	Pompes à chaleur	Biogaz	Solaire thermique	Petit hydraulique	Géothermie	Total
Allemagne	5 180	12 420	7 525	3 680	1 530	2 075	1 240	450	160	34 260
Italie	1 950	4 600	1 180	1 300	1 825	1 900	400	600	600	14 355
France	1 910	2 430	1 560	2 470	1 870	290	430	300	60	11 320
Royaume-Uni	6 000	1 500	525	850	160	600	50	170	< 5	9 860
Danemark	7 380	1 400	435	220	208	40	110	< 5	< 5	9 803
Espagne	3 850	800	1 405	1 830	100	105	500	200	0	8 790
Suède	1 230	60	2 745	560	600	50	10	280	15	5 550
Autriche	740	390	2 550	500	212	75	345	510	15	5 337
Pologne	1 260	14	1 990	580	65	50	241	80	30	4 310
Pays-Bas	1 000	1 500	320	660	500	100	60	0	80	4 220
<b>Belgique</b>	<b>1 000</b>	<b>1 400</b>	<b>320</b>	<b>310</b>	<b>64</b>	<b>70</b>	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>40</b>	<b>3 264</b>
Finlande	120	< 1	2 280	250	400	20	< 5	45	0	3 121
Grèce	200	1 800	290	120	0	30	200	55	< 5	2 700
Roumanie	1 300	5	1 010	180	5	< 5	20	95	25	2 645
Bulgarie	200	1 500	285	10	175	0	< 10	110	< 5	2 295
Portugal	500	150	680	270	17	25	75	95	10	1 822
République tchèque	70	300	625	270	80	140	85	70	< 5	1 645
Hongrie	40	5	415	75	7	30	35	< 5	60	672
Slovaquie	0	150	210	100	7	20	10	140	25	662
Lettonie	25	< 1	505	20	10	10	< 5	< 5	0	581
Slovénie	< 5	250	163	50	45	18	10	15	10	566
Estonie	120	< 1	295	5	94	< 5	< 5	< 5	0	530
Irlande	250	< 1	60	80	15	25	20	< 5	0	456
Lituanie	55	10	290	60	9	< 5	< 5	< 5	5	444
Luxembourg	10	15	15	45	0	10	< 5	< 5	0	105
Chypre	15	15	< 1	15	0	0	20	0	0	66
Malte	0	40	0	0	0	0	< 5	0	0	45
<b>Total UE</b>	<b>34 410</b>	<b>30 758</b>	<b>27 679</b>	<b>14 510</b>	<b>7 998</b>	<b>5 698</b>	<b>3 951</b>	<b>3 260</b>	<b>1 160</b>	<b>129 424</b>

#### **IV. Références bibliographiques**

[1] <http://utilisationdesenergies.blogspot.com>

Site web consulté le 05 Novembre 2016

[2] Muhamad Hasbullah Padzillah , “Experimental and Numerical Investigation of an Automotive Mixed Flow Turbocharger Turbine under Pulsating Flow Conditions”, A Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy of the Imperial College, London, March 2014

[3] Anne Rainaud, "Protocole de Kyoto", Dictionnaire Collectivités territoriales et de développement durable, Pages 398-403, 2017

[4] EurObserv'ER, "État des énergies renouvelables en Europe. Édition 2013. 13e bilan EurObserv'ER", Paris, Observ'ER, janvier 2013, [www.energies-renouvelables.org](http://www.energies-renouvelables.org).