

<b>Source Energie Primaire Non Renouvelable</b>	<h1>CHARBON</h1>
---	------------------

**ORIGINE**

Le charbon est formé à partir de la dégradation de la matière organique des végétaux (arbres, fougères...); cette formation est l'aboutissement d'un long processus de sédimentation. Le premier stade de cette sédimentation conduit à la formation de tourbe puis lors de l'enfouissement, de lignite (50% C + 50% eau), puis de houille, puis d'anthracite (carbone presque pur). Cette évolution s'accompagne d'une diminution du % en eau, et d'une augmentation du % en carbone donc du pouvoir calorifique. Le charbon produit au cours de son enfouissement, du pétrole (très peu) et du gaz (grisou=méthane). Exploitation se fait en mines souterraines ou à ciel ouvert.

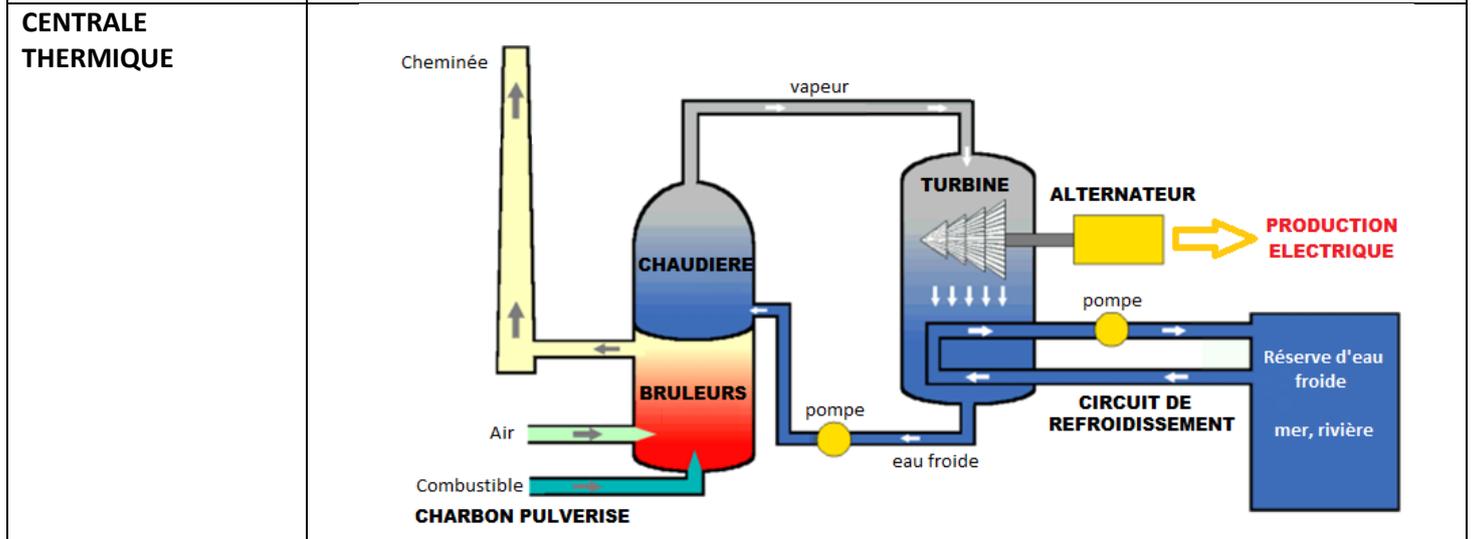
**RESERVES**

6 pays concentrent 80 % des réserves mondiales :  
 USA (33%), Chine (16% et 1° producteur), Australie, Inde, Afrique du Sud et Russie.  
 En 2004, le charbon représente 25.1% des énergies primaires mondiales (2° source après le pétrole). 200 ans de réserve à consommation constante.  
**Le pic du charbon pourrait être en 2020 (EWG).**

- TRANSFORMATION**
- En essence synthétique (très cher).
  - En gaz de ville, fabriqué dans les usines à gaz.
  - En coke (par distillation du charbon) : petits boulets de charbon utilisables pour le chauffage et l'industrie sidérurgique pour faire de l'acier et de la fonte.
  - En électricité dans les centrales thermiques.

**UTILISATION**

	Mondiale	France en 2010 (Négawatt)
Sidérurgie		58 TWh
Chauffage		24 TWh
Electricité	40% de l'électricité mondiale	11 TWh (EDF) + import



**POLLUTION**

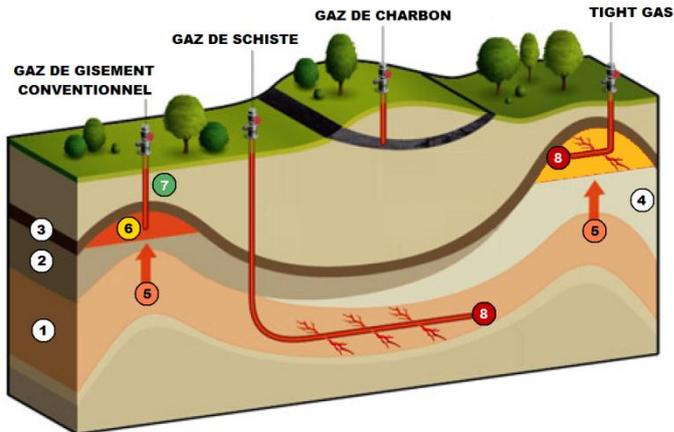
Consommation d'eau très importante.  
 Emet des particules fines responsables de maladies pulmonaires.  
 Emet des Gaz à Effet de Serre (GES) responsables du changement climatique et des pluies acides.  
 Génère des déchets toxiques (mercure, plomb, arsenic, cadmium) responsables d'empoisonnement, de cancers et de maladies rénales.  
**C'est la source d'énergie la plus polluante et la plus émettrice de CO<sup>2</sup> (40% des émissions mondiales soit 11 milliards de tonnes).**

**DEPOLLUTION DES REJETS**

Les poussières récupérées (99% EDF) sont utilisées dans les ciments.  
 Les oxydes de soufre récupérés (90% EDF) sont utilisés dans les plâtres synthétiques.  
 80% des oxydes d'azote sont éliminés (EDF).  
 Captage et stockage du CO<sup>2</sup>  
 Est actuellement au stade expérimental : sera opérationnel en 2030 donc trop tard.  
 Très gros consommateur d'eau  
 Consomme 10 à 40% de l'énergie fournie par la centrale : pour une même production, il faudra donc plus de centrale, donc plus de CO<sup>2</sup>.  
 Trop cher : entrainera une augmentation de 20 à 90% du prix de l'électricité  
 Trop dangereux : risques de fuites ayant des conséquences sur le climat, l'environnement et la santé (17% de CO<sup>2</sup> dans l'air entraine la mort immédiate).

**ORIGINE**

**Le Gaz Naturel**  
Même origine que le pétrole mais la roche mère qui le produit est plus profonde, contient principalement du méthane CH<sub>4</sub>. Normalement le gaz migre de la roche mère vers la surface du sol sauf s'il est piégé par une couche imperméable créant ainsi un gisement dit conventionnel.



- 1 Roche mère mature contenant du gaz résiduel
- 2 Couche perméable et poreuse = réservoir conventionnel
- 3 Couche imperméable = toit du réservoir
- 4 Couche à faible porosité = réservoir tight gas
- 5 Migration du gaz au fil du temps géologique de la roche mère vers la surface.
- 6 Piège géologique
- 7 Puits vertical
- 8 Puits horizontal + fracturation

**Le Gaz de Charbon** (grisou) est du méthane et du dioxyde de carbone contenu dans ses pores.  
**L'hydrate de méthane** est un composé organique naturellement présent dans les fonds marins, sur certains talus continentaux, ainsi que dans le pergélisol (ou permafrost) des régions polaires.

**RESERVES**

**Le Gaz Naturel Conventionnel**  
16 pays concentrent 80 % de la production mondiale : 2743 Gm<sup>3</sup> en 2007 selon BP.  
Russie (22%), USA (19%), Canada (7%), Algérie (3%), Royaume Uni, Iran, Norvège, Indonésie, ...  
Les données d'exploitation du gaz naturel sont mal connues ; les pays producteurs surestiment leurs réserves, ce qui ne permet pas de déterminer la date du pic du gaz qui est estimé entre 2008 et 2030.  
Le déclin après le pic gazier sera très important car la pression chutera rapidement.  
**Le Gaz de Schiste** est potentiellement présent dans les bassins sédimentaires ; les réserves sont mal connues et certainement surestimées (bulle spéculative).  
**Le Gaz de Charbon** est exploité au USA et en Chine ; en Europe, pas assez de méthane dans le charbon.  
**L'Hydrate de Méthane** est présent en grande quantité en fond marin, mais difficilement exploitable.

**EXTRACTION**

**Le Gaz Naturel Conventionnel** : Liée à l'extraction du pétrole. Jusque dans les années 1970, présentait peu d'intérêt : difficile à transporter, moins énergétique que le charbon ou le fuel pour un même volume, dangereux à manipuler, il était souvent brûlé à la torche (150 Gm<sup>3</sup> en 2007 !). La production mondiale a augmenté de 7,3% en 2010.  
**Le Gaz de Schiste** : Forage vertical puis horizontal avec fracturation hydraulique. Bilan énergétique très faible 2 :1 .Exploité depuis 2000 aux USA.

**TRANSFORMATION**

C'est une matière première de **l'industrie chimique et pétrochimique** qui permet d'obtenir de l'hydrogène, du méthanol (plastiques, solvants, raffinage du pétrole), de l'ammoniac (engrais, résines).  
Le Gaz Naturel est également transformé en **électricité** dans les centrales thermiques à gaz (rendement 37 à 55%), ou en cogénération (chaleur, électricité : rendement 80 à 90%) et tri-génération (chaleur, froid, électricité : rendement 80 à 95%).

**UTILISATION**

23 % de l'énergie mondiale consommée en 2005, après le pétrole (37 %) et le charbon (24 %).  
- **Chaleur** : de plus en plus utilisée par l'industrie (chauffage, fours...) et les particuliers (chauffage, eau chaude et cuisson). En France en 2010, 412 TWh (Négawatt).  
- **Electricité** : en 2006, au niveau mondial, plus de 30 % de l'électricité est produite à partir de gaz naturel, et cette part ne cesse d'augmenter. En France en 2010, 24 TWh.  
- **Mobilité** : depuis quelques années, le gaz naturel comprimé en bouteilles est utilisé en France comme carburant pour les véhicules (GNV). En France en 2010, 0.015%.

**POLLUTION ET RISQUES**

- Le méthane est un gaz à effet de serre (pouvoir de réchauffement 23 fois supérieur au CO<sub>2</sub>)
- Sa combustion dégage théoriquement du CO<sub>2</sub> et de l'eau ; seulement 55 kg de CO<sub>2</sub> par GJ de chaleur produite (contre 75 pour le pétrole brut, et 100 environ pour le charbon).
- si la combustion n'est pas complète, elle dégage du monoxyde de carbone qui est très toxique à de très faibles concentrations, presque pas d'oxydes d'azote et très peu d'oxyde de soufre.
- La combustion ne produit pas de suies, mais des nanoparticules.
- Risque d'explosion du mélange air/gaz en milieu confiné
- La libération du gaz comprimé à forte pression peut s'accompagner de projections.
- Consommation importante d'eau et pollution environnementale et sanitaire en cas de fracturation hydraulique.

**AVANTAGE**

Moins polluant que le charbon et le pétrole

Source Energie Primaire Non Renouvelable	PETROLE																
<b>ORIGINE</b>	<p>La roche mère est composée d'un mélange de sédiments et de quantités importantes de matière organique (plantes, animaux morts) déposés au fond de la mer au fil du temps. Ces résidus reposent intacts pendant des millions d'années et s'enfoncent peu à peu sous le poids des sédiments les plus récents; elle est alors soumise à des températures et des pressions de plus en plus fortes. La matière organique se transforme ainsi en kérogène qui donnera naissance au pétrole puis au gaz méthane. Ces hydrocarbures, plus légers que l'eau, sont expulsés de la roche mère et ils s'échappent en générale jusqu'à la surface de la Terre où ils sont oxydés, ou bio dégradés (ce dernier cas donne des sables bitumineux), mais une minime quantité reste piégée dans une couche perméable (sable, carbonates ou dolomites), par une couche imperméable (argile, schiste et gypse).</p>																
<b>RESERVES</b>	<p>Avec 37 % de l'énergie consommée en 2005, le pétrole est la première source d'énergie la plus utilisée dans le monde. En 2005, les réserves mondiales prouvées de pétrole conventionnel étaient estimées à 1200 milliards de barils selon les chiffres de British Pétroleum (soit 40 ans à production constante); chiffre sujet à caution, car les réserves sont souvent surestimées. Les découvertes de nouveaux gisements sont inférieures à la production depuis les années 1980. L'agence Internationale de l'Énergie a annoncé fin 2010 <b>la survenance du pic pétrolier mondial en 2006</b>. Le déclin pourrait être très rapide :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La surproduction diminue le taux de récupération.</li> <li>- Le bilan énergétique (EROI = rapport 'baril servant à l'extraction/baril produit') tend vers 1 ; 100 en 1930, 25 en 2005.</li> </ul> <p><b>La pénurie pourrait donc arriver entre 2015 et 2020.</b></p>																
<b>EXTRACTION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pompage dans les gisements conventionnels par forage vertical suivi dans certains cas de fracturation hydraulique en fin d'exploitation ; le taux de récupération du pétrole sur un plan mondial est en 2008 de l'ordre de 35%.</li> <li>- Forage verticaux et horizontaux avec fracturation hydraulique de la roche mère (huile de schiste).</li> <li>- Mine à ciel ouvert de sable bitumineux (2 % de la production mondiale).</li> </ul>																
<b>TRANSFORMATION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- le pétrole fournit par raffinage la quasi-totalité des carburants liquides — fioul, gazole, kérosène, essence, GPL</li> <li>- les huiles les plus lourdes produisent les bitumes, paraffines et lubrifiants.</li> <li>- le naphta produit par le raffinage est à la base de la pétrochimie, dont sont issus un très grand nombre de matériaux usuels — plastiques, textiles synthétiques, caoutchoucs synthétiques (élastomères), détergents, adhésifs, engrais, cosmétiques...</li> <li>- En électricité dans les centrales thermiques à fioul.</li> </ul>																
<b>UTILISATION</b>	<p>Aujourd'hui, environ 85% des activités humaines sont liées au pétrole. Les transports sont le poste le plus évident. Mais des secteurs d'importance comme la médecine, les médicaments via l'industrie chimique et surtout l'agriculture dispensatrice de nourriture sont liés au pétrole. L'agriculture est concernée à plusieurs titres. La mécanisation mais aussi les productions d'engrais (N,P,K) et de pesticides sont entièrement dépendantes du pétrole.</p> <table border="1" data-bbox="375 1375 1485 1543"> <thead> <tr> <th></th> <th>Mondiale</th> <th>France en 2010 (source Négawatt)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mobilité</td> <td>48% en augmentation (FMI 2002)</td> <td>642 TWh</td> </tr> <tr> <td>Chauffage</td> <td></td> <td>174 TWh</td> </tr> <tr> <td>Electricité</td> <td>&lt;8% en diminution (2006)</td> <td>4 TWh</td> </tr> <tr> <td>Pétrochimie</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Mondiale	France en 2010 (source Négawatt)	Mobilité	48% en augmentation (FMI 2002)	642 TWh	Chauffage		174 TWh	Electricité	<8% en diminution (2006)	4 TWh	Pétrochimie		
	Mondiale	France en 2010 (source Négawatt)															
Mobilité	48% en augmentation (FMI 2002)	642 TWh															
Chauffage		174 TWh															
Electricité	<8% en diminution (2006)	4 TWh															
Pétrochimie																	
<b>POLLUTION</b>	<p>L'impact environnemental le plus inquiétant du pétrole est l'émission de dioxyde de carbone (CO<sup>2</sup>) résultant de sa combustion comme carburant. La combustion libère dans l'atmosphère d'autres polluants, comme le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), mais ceux-ci peuvent être maîtrisés, notamment par la désulfuration des carburants, ou des suies. On estime cependant que si le pétrole est plus polluant que le gaz naturel, il le serait nettement moins que le charbon et les sables bitumineux.</p> <table border="1" data-bbox="375 1709 1503 1845"> <thead> <tr> <th></th> <th>Emission directe en gCO<sup>2</sup> eq / kWh</th> <th>Emission sur le cycle de vie en gCO<sup>2</sup> eq / kWh</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fioul, gazole</td> <td>270</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>Essence</td> <td>264</td> <td>309</td> </tr> <tr> <td>GPL</td> <td>230</td> <td>274</td> </tr> </tbody> </table> <p>L'extraction pétrolière elle-même n'est pas sans impact sur les écosystèmes locaux. Les fuites de pétrole à la production ou dans son transport peuvent être parfois désastreuses, l'exemple le plus spectaculaire étant celui des marées noires. Les effets des dégazages ou même ceux plus cachés comme l'abandon des huiles usagées ne sont pas à négliger.</p> <p>Impact sur la santé : le pétrole peut être cancérigène sous certaines formes, la pollution due aux transports (particules diesel) est responsable de maladies pulmonaires et cardiovasculaires (plus de 2 millions/an de décès prématurés dans le monde selon l'OMS), les dérivés (bisphénol A, phtalates ...) agissent comme des perturbateurs endocriniens sur l'homme.</p> <p>Notons que les conséquences géologiques sous forme de séismes induits sont très peu étudiées.</p>			Emission directe en gCO <sup>2</sup> eq / kWh	Emission sur le cycle de vie en gCO <sup>2</sup> eq / kWh	Fioul, gazole	270	300	Essence	264	309	GPL	230	274			
	Emission directe en gCO <sup>2</sup> eq / kWh	Emission sur le cycle de vie en gCO <sup>2</sup> eq / kWh															
Fioul, gazole	270	300															
Essence	264	309															
GPL	230	274															

Source Energie Primaire Non Renouvelable	<b>URANIUM 1/2</b>
<b>ORIGINE</b>	<p>L'uranium (métal lourd radioactif U238 et U235) est répandu dans les profondeurs du globe terrestre ; sa désintégration entretient en énergie thermique le noyau terrestre, mais surtout le manteau rocheux terrestre, et donc toute la géothermie.</p> <p>Il est également présent dans toute l'écorce terrestre, surtout dans les terrains granitiques et sédimentaires, à des teneurs d'environ 3 g/tonne soit de l'ordre du millier de milliards de tonnes; l'immense majorité de cette masse est inexploitable dans les conditions économiques actuelles.</p> <p>L'eau de mer en contient environ 3 mg/m<sup>3</sup> (CEA, COGEMA), soit 4,5 milliards de tonnes d'uranium dissous dans les océans. Les eaux douces en contiennent souvent; par exemple le Rhône en charrie environ 29 t/an (ruissellement des roches uranifères des Alpes), l'eau de Badoit en contient 58 µg/l à la source. Pourtant, en extraire de l'eau ne serait pas énergétiquement rentable.</p> <p>Le minerai d'uranium est appelé uraninite, ou pechblende.</p>
<b>RESERVES</b>	<p>5,4 million de tonnes en 2009 (AIAE) : Australie 31%, Kazakhstan 12%, Canada 9%, Russie 9%</p> <p>Production 50 000 tonnes en 2009 (27,3 % Kazakhstan).</p> <p><b>Le pic de production est estimé entre 2015 et 2025, assurant une production pour 50 à 70 ans.</b></p> <p>La France a produit de l'uranium ; pic atteint dans les années 1980 puis déclin et fermeture des mines en 2001. Les ressources restantes sont estimées à 12 500 tonnes (soit 0,5 % du total mondial), mais avec peu de sites suffisamment rentables. Les sites (210 d'extraction, 8 de traitement, 15 de stockage de résidus de traitement) sont sous la responsabilité d'AREVA.</p>
<b>CYCLE DU COMBUSTIBLE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Après purification on obtient sur site minier du Yellow-cake</li> <li>- Transformation en UF<sub>6</sub> (Comurhex sites aude et drôme)</li> <li>- Enrichissement de l'U<sub>235</sub> (usine Georges Besse - Eurodif) par diffusion gazeuse (abandon proche de GB1) ou par ultracentrifugation (GB2 en construction)</li> <li>- Fabrication du combustible : <ul style="list-style-type: none"> <li>o UF<sub>6</sub> -&gt; Oxyde d'uranium utilisé dans les réacteurs UOX à eau légère et les réacteurs AGR avancé au gaz du Royaume-Uni (usine FBFC de Romans).</li> <li>o Uranium appauvri + Plutonium -&gt; MOX utilisé comme combustible (30 %) dans les réacteurs à eau pressurisée et à neutrons rapides (usine Melox Marcoule).</li> </ul> </li> <li>- Utilisation dans les réacteurs pendant 5 à 10 ans</li> <li>- Refroidissement en piscine sur site</li> <li>- Retraitement à l'usine de la Hague (AREVA)</li> <li>- Stockage des déchets</li> </ul>
<b>UTILISATION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Civile : transformation en électricité dans les centrales nucléaires : 437 réacteurs nucléaires dans le monde (30 pays).</li> <li>- Militaire : bombe A et H, arme anti-char à l'uranium appauvri. Le plutonium nécessaire est produit par les centrales nucléaires civiles.</li> </ul>
<b>DECHETS ET RETRAITEMENT</b>	<p>Une fois le combustible déchargé du cœur du réacteur, il est :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Refroidi en piscine</li> <li>- Stocké en eau dure pour diminuer la puissance résiduelle</li> <li>- Retraité pour en extraire l'uranium restant (95%) et le plutonium (1%) à l'usine de la Hague, pour la fabrication du MOX (combustible).</li> <li>- Conditionnement des déchets (4%) vitrifiés dans des fûts inox .</li> </ul> <p>Technique de stockage :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Stockage en piscine</li> <li>- Stockage en silo pour les déchets à faible activité</li> <li>- Enfouissement faible profondeur pour les déchets à faible activité</li> <li>- Enfouissement profond dans des couches géologiques stables (mine de sel, craie) pour les déchets à moyenne et haute activité à durée de vie longue : laboratoire expérimental de Bure.</li> </ul>
<b>REACTEURS NUCLEAIRES</b>	<p><b>Principe de fonctionnement</b></p> <p>Le pilotage d'un réacteur nucléaire repose sur le maintien d'une masse critique de combustible nucléaire au cœur du réacteur. Pour permettre un meilleur rendement du réacteur, on effectue un ralentissement des neutrons à l'aide d'un modérateur. Et pour évacuer la chaleur produite par la réaction en chaîne, on utilise un caloporteur.</p> <p><b>Filières</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nature du combustible : uranium naturel, uranium enrichi, MOX ...</li> <li>- Modérateur : aucun (réacteur rapide), eau lourde, eau pressurisée, graphite</li> <li>- Caloporteur : eau pressurisée, eau bouillante, gaz, sodium, sels fondus</li> </ul> <p>En France nous avons 58 réacteurs de type REP sur 19 sites (Réacteurs à Eau Pressurisée) où l'eau sert à la fois de caloporteur et de modérateur; 38 réacteurs UOX et 20 réacteurs UOX + MOX. L'EPR est la 3<sup>e</sup> génération de REP. La puissance installée est de 63 GW, et fournit 80% de l'électricité produite.</p> <p>Le plus ancien réacteur date de 1970 et le plus récent a été couplé au réseau en 1999</p>

<b>Source Energie Primaire Non Renouvelable</b>	<h1 style="text-align: center;">URANIUM 2/2</h1>
<b>AVANTAGES</b>	<p><b>Faible émission de Gaz à Effet de Serre</b> : 6g CO<sub>2</sub>/kWh (gaz 430g - charbon 800 à 1050g)</p> <p><b>Faible coût de l'énergie électrique</b> : le coût est sous-évalué car il ne tient pas compte :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- D'une part de la recherche qui est assurée par le nucléaire militaire.</li> <li>- Du démantèlement des centrales ; coût sous-estimé et technique non éprouvée.</li> <li>- Du stockage des déchets à très long terme non encore résolu.</li> <li>- Des conséquences sanitaires et environnementales en cas d'accident.</li> </ul> <p><b>Indépendance énergétique</b> : en fait on reste dépendant des pays producteurs d'uranium car on n'en extrait plus en France depuis 2001 ; le Niger (mines d'Arlit) est le principal fournisseur.</p>
<b>INCONVENIENTS</b>	<p><b>Peu adaptable à la consommation en temps réel</b> : un réacteur nucléaire n'a pas de bouton ARRET donc</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Surdimensionnement des installations pour absorber les pics de consommation</li> <li>- Création de nouveaux besoins pour consommer les excédents de production (climatisation)</li> <li>- Favorise le chauffage électrique par convecteurs ou radians</li> </ul> <p><b>Sureté</b> : la sureté à 100% n'existe pas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Il y a toujours un facteur humain qui est non contrôlable (Tchernobyl)</li> <li>- Les risques sismiques sont souvent sous-estimés</li> <li>- Les risques d'inondation ne sont pas ou mal pris en compte</li> <li>- Les risques d'intrusion et d'actes terroristes ne sont pas pris en compte</li> <li>- Les risques imprévisibles existent (Fukushima)</li> <li>- Le vieillissement des centrales augmente les risques d'accident ; malgré les entretiens et les mises à niveaux, la conception et la structure du réacteur ne peuvent pas être modifiées.</li> <li>- Les risques d'accident lors des transports de combustible et de déchets sont non négligeables.</li> </ul> <p><b>Démantèlement</b> : la technique n'est pas maîtrisée.</p> <p>La centrale de Brennilis (1<sup>er</sup> démantèlement total en France) est arrêtée depuis 1985 avec fin des travaux prévu en 1999 ; en 2005 la phase 1 (mise à l'arrêt) et la phase 2 (décontamination et démontage des bâtiments hors réacteur) sont pratiquement terminées. Depuis les travaux sont suspendus suite à différents incidents, à des problèmes non résolus de stockage de déchets radioactifs de longue durée et du manque de garantie concernant les risques encourus et le niveau de dépollution finale du site. EDF a actuellement l'accord pour terminer les travaux de la phase 2, mais pas ceux de la phase 3 dans l'enceinte du réacteur. Coût estimé du démantèlement en 2005, 482 millions € soit 20 fois ce qui était prévu, et ce n'est pas fini !</p> <p><b>Risques Sanitaires</b></p> <p>Risques d'exposition :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- du personnel sur les sites miniers et sur les sites nucléaires.</li> <li>- de la population en cas d'accident de transport de combustible/déchets, d'accident nucléaire.</li> <li>- des populations à venir en cas de fuite sur les sites de stockage.</li> </ul> <p>Modes d'exposition :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- par irradiation à distance</li> <li>- par contamination interne après inhalation, ingestion ou contact dermique du radioélément.</li> </ul> <p>L'uranium a une toxicité chimique voisine du plomb et de l'arsenic : c'est un poison.</p> <p>Les conséquences sur la santé des radiations dépendent des doses reçues, de la durée d'exposition, du type d'exposition (ponctuel ou prolongé) et le type de rayonnement concerné : stérilité, malformations et troubles mentaux des enfants, brûlure, leucémie, cancers, mort.</p> <p><b><i>Les effets se manifestent rapidement en cas de forte irradiation, et souvent de nombreuses années après en cas de faible irradiation, et ce même pour des doses très faibles.</i></b></p> <p><b>Risques environnementaux</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pollution des sites miniers</li> <li>- Les zones d'exclusion en cas d'accident nucléaire deviennent inhabitables et non cultivables.</li> <li>- La dépollution des sites après démantèlement n'est pas garantie.</li> <li>- Les sites de stockages des déchets resteront pendant des milliers d'années des zones à haut risque ; les conteneurs de déchets ayant une durée de vie inférieure à celle des éléments radioactifs, la pollution est donc inéluctable.</li> </ul> <p><b>Opacité</b></p> <p>Du fait du lien avec le militaire et de l'importance de la stratégie énergétique du pays, une opacité est maintenue sur le nucléaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La population n'est pas informée</li> <li>- Le choix du nucléaire ne résulte pas d'une consultation citoyenne</li> <li>- Minimisation des conséquences des accidents.</li> <li>- Le coût de l'énergie nucléaire est faussé par les subventions d'état et la non prise en compte du cycle total de vie (recherche, extraction minerais, traitement, construction-exploitation-maintenance-démantèlement des centrales, retraitement et stockage des déchets).</li> </ul>

**RADIOACTIVITE**

La radioactivité est un phénomène physique naturel où des noyaux atomiques instables, dits radio-isotopes, se transforment spontanément en dégageant de l'énergie sous forme de rayonnements (rayons  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ ) pour se transformer en des noyaux atomiques plus stables ayant perdu une partie de leur masse.

**Risque sanitaire**

- par irradiation à distance. L'irradiation d'un organisme entraîne des effets qui peuvent être plus ou moins néfastes pour la santé, selon les doses de radiation reçues, la durée d'exposition (aiguë ou chronique) et le type de rayonnement concerné : stérilité, malformations et troubles mentaux des enfants, brûlure, leucémie, cancers, mort. **Les effets se manifestent souvent de nombreuses années après l'exposition et même pour des doses très faibles.**
- par contamination interne après inhalation, ingestion ou contact dermique du radioélément.

**Unités de mesure**

- L'activité d'une source radioactive se mesure en becquerels (Bq), nombre de désintégrations par seconde.
- Le sievert (Sv) est l'unité utilisée pour les expositions faibles qui donne une évaluation de l'impact des rayonnements sur l'homme ; risque supplémentaire de décéder un jour d'un cancer, et risque de transmettre un jour une mutation grave à un descendant. Ancienne unité le rem (1 rem = 10 mSv). Dose autorisée pour la population 1mSv/an, pour le personnel exposé 20 mSv/an.
- Le Gray (Gy) est l'unité employée en cas de forte irradiation qui mesure la quantité d'énergie absorbée par l'organisme exposé à des rayonnements ionisants; une dose de 8 Gy implique une mort certaine, 5 Gy entraîne 50% de morts. Le Gray ne tient pas compte de la nature des radiations ni des taux d'absorption.

**Durée de demi-vie**

- Le temps de demi-vie ou période radioactive correspond au temps nécessaire pour que la moitié des atomes se désintègrent naturellement. Ainsi en 10 périodes radioactives, la radioactivité d'un produit est divisée par 1024. A la demi-vie physique du radioélément se combine la demi-vie biologique de l'élément chimique qui peut être rapidement ou pas éliminé de l'organisme.

RADIOELEMENT	PERIODE	ACTIVITE MASSIQUE
Iode 131	8 jours	4,6 millions de milliards de Bq/g
Césium 137	30 ans	3 200 milliards de Bq/g
Plutonium 239	24 000 ans	2,3 milliards de Bq/g
Uranium 238	4,5 milliards d'années	12 300 Bq/g

**Activité d'un radioélément**

L'activité d'un échantillon de matière radioactive est définie par le nombre des désintégrations qui se produisent en son sein à chaque instant ; elle varie en sens inverse de sa durée de vie.

**FISSION NUCLEAIRE**

Lorsqu'un neutron percute le noyau de certains isotopes lourds (deux atomes sont dits isotopes si leur noyau a un nombre de protons identique mais un nombre de neutrons différent), il est probable que ce noyau se scinde en 2 noyaux plus légers. Cette réaction, dite fission nucléaire, se traduit par un dégagement d'énergie très important (1 million de fois celle des énergies fossiles de même masse).

Cette fission s'accompagne de l'émission de plusieurs neutrons qui percutent d'autres noyaux et provoquent ainsi une réaction en chaîne. Dans un réacteur nucléaire, cette réaction en chaîne se déroule à vitesse lente et contrôlée. Dans une bombe, elle se propage si rapidement qu'elle conduit à une réaction explosive.

**FUSION NUCLEAIRE**

La fusion nucléaire est une réaction où 2 noyaux atomiques s'assemblent pour former un noyau plus lourd ; par exemple un noyau de deutérium (isotope de l'hydrogène) et un noyau de tritium (autre isotope de H) s'unissent pour former un noyau d'hélium plus un neutron. La fusion des noyaux légers dégage une énorme quantité d'énergie (théoriquement 3 à 4 fois celle de la fission).

Cette réaction n'est possible qu'à des températures très élevées (plusieurs dizaines de millions de degrés) où la matière est à l'état de plasma. Ces conditions sont réunies au sein des étoiles ou lors de l'explosion d'une bombe à fission nucléaire, qui amorce ainsi l'explosion thermonucléaire (bombe H).

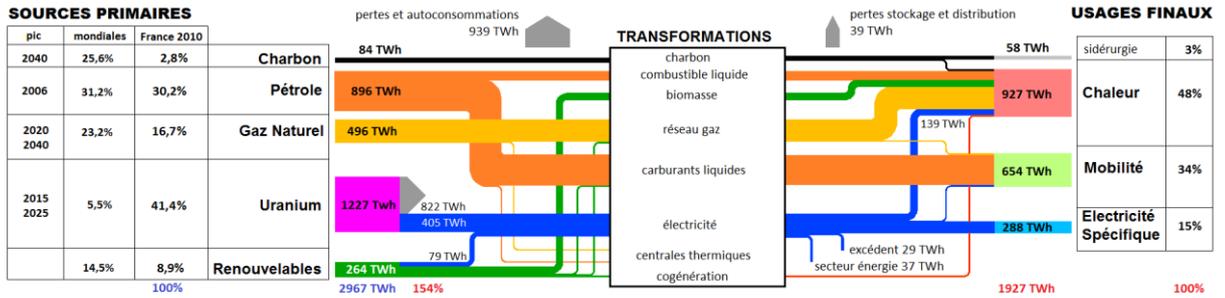
Actuellement, aucun appareillage ne permet de produire de l'énergie en contrôlant les réactions de fusion nucléaire. Des recherches sont actuellement menées (ITER) afin de développer l'usage civil de l'énergie de fusion nucléaire pour la production électrique.

- Projet très coûteux (1 500 millions €, soit 3 fois les estimations de 2006).
- Nombreux problèmes à résoudre (production tritium, corrosion...).

Source Energie Primaire Renouvelable	<b>EOLIEN</b>																																													
<p><b>PRINCIPE</b></p> 	<p>L'énergie éolienne est indirectement de l'énergie solaire ; les différences de températures et de pressions dues à l'absorption du rayonnement solaire par l'atmosphère produisent les vents.</p> <p><b>Une éolienne possède un rotor mis en rotation par le vent, par l'intermédiaire de pales ; ce rotor est couplé à un alternateur qui produit de l'électricité.</b> La conception est très variée (axe horizontal ou vertical, forme des pales) ; la plus répandue est d'axe horizontal avec des pales dans le plan vertical.</p> <p><b>Le rendement est lié à la vitesse du vent, à sa régularité et à l'absence de turbulence ;</b> le rotor est donc mis sur un mat de grande hauteur (10 à 120m). Choix des sites propices: crêtes, lacs, mer.</p> <p>En France, les parcs éoliens (ou fermes éoliennes) ont un minimum de 5 éoliennes (loi Grenelle 2). Ceci interdit donc la petite production locale et renforce la centralisation de la production.</p> <p>Du fait de l'intermittence du vent, une énergie de remplacement est nécessaire pour les périodes moins ventées, ou/et un moyen de stockage de l'énergie (batterie, pompage-turbinage dans les centrales hydrauliques, production d'hydrogène, de méthane et d'air comprimé).</p>																																													
<p><b>EOLIEN TERRESTRE</b></p> 	<p>Les éoliennes terrestres ont un rotor horizontal à 3 pales de 5 à 60m sur un mat de 10 à 100m. Puissance de 2 mégawatts à 5 MW. Durée de vie d'au moins 20 à 25 ans.</p> <p>Vent de 11 à 90 km/h : au-delà les éoliennes se mettent en sécurité pour éviter tout risque de casse.</p> <p>Le temps de production d'une éolienne, en raison de l'intermittence du vent, est estimé entre ¼ et ½ du temps de service. Le facteur de charge (énergie produite / énergie nominale installée) est en moyenne de l'ordre de 22% en France. Une éolienne de 2MW produit donc environ 3.9 GWh en une année soit la consommation de 1400 foyers (hors chauffage électrique).</p> <p>Bilan énergétique positif : une éolienne produit en une année l'équivalent d'énergie nécessaire pour la construire, l'installer et la démanteler.</p>																																													
<p><b>EOLIEN OFFSHORE</b></p> 	<p>Les éoliennes offshore (en plein mer) ont la même conception que les éoliennes terrestre, en plus gros : mat de 120 m, pales de 60m. Puissance 5 à 6 MW. Accepte des vents jusqu'à 200 km/h. En mer les vents sont plus forts et plus réguliers, donc 2 fois plus de production que les éoliennes terrestres. Investissement 2 fois plus lourd que le terrestre, mais les coûts doivent rapidement baisser.</p> <p>Une quarantaine de parcs sont implantées dans des fonds peu profond (20 à 45 m) principalement en mer du Nord ; la puissance installée en Europe est de 3.2 GW en 2011 et doit passer à 40 GW en 2020. En France, il y a actuellement 2 projets d'implantation offshore de 3GW chacun.</p> <p>L'éolien offshore emploi 35 000 personnes (source EWEA European Wind Energy Association) en Europe.</p>																																													
<p><b>PETIT EOLIEN</b></p> 	<p>Usage domestique, en site urbain (intégré sur les façades d'immeubles), sur sites isolés, en milieu rural. Applications : éclairage public, routeur WiFi, pompe, équipement voilier ...</p> <p>Ces éoliennes de petites dimensions sont à axe horizontal ou vertical avec une puissance de 100 W à 30 kW (100 kW aux EU); elles sont soit raccordées au réseau soit autonomes sur site isolé.</p>																																													
<p><b>PRODUCTION</b></p>	<table border="1" data-bbox="411 1267 1544 1447"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>Monde</th> <th>Europe</th> <th>Danemark</th> <th>Allemagne</th> <th>France</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3"><b>2010</b></td> <td>% électricité</td> <td></td> <td></td> <td>26%</td> <td>6%</td> <td>1.9%</td> </tr> <tr> <td>Puissance installée</td> <td>193 GW</td> <td>84 300 MW</td> <td>3 750 MW</td> <td>28 000 MW</td> <td>5 600 MW</td> </tr> <tr> <td>Energie produite</td> <td>386 TWh</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>11 TWh</td> </tr> <tr> <td rowspan="2"><b>2020</b></td> <td>% électricité</td> <td></td> <td>14%</td> <td></td> <td></td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>Puissance installée</td> <td>1500 GW</td> <td>210 GW</td> <td></td> <td></td> <td>25GW</td> </tr> </tbody> </table> <p>L'objectif fixé pour 2020 en France n'a aucune chance d'être atteint en raison des freins dus à la réglementation (source SER syndicat des énergies renouvelables).</p>									Monde	Europe	Danemark	Allemagne	France	<b>2010</b>	% électricité			26%	6%	1.9%	Puissance installée	193 GW	84 300 MW	3 750 MW	28 000 MW	5 600 MW	Energie produite	386 TWh				11 TWh	<b>2020</b>	% électricité		14%			10%	Puissance installée	1500 GW	210 GW			25GW
		Monde	Europe	Danemark	Allemagne	France																																								
<b>2010</b>	% électricité			26%	6%	1.9%																																								
	Puissance installée	193 GW	84 300 MW	3 750 MW	28 000 MW	5 600 MW																																								
	Energie produite	386 TWh				11 TWh																																								
<b>2020</b>	% électricité		14%			10%																																								
	Puissance installée	1500 GW	210 GW			25GW																																								
<p><b>AVANTAGES</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forme d'énergie renouvelable, inépuisable (tant que le soleil existe) et propre (ne nécessite pas de carburant pour fonctionner). Ne génère pas de gaz à effet de serre.</li> <li>- une éolienne est en grande partie recyclable (acier, béton) sauf les pales en composites non recyclables actuellement. En fin de vie, elle est entièrement et rapidement démontable sans laisser de produits contaminants.</li> <li>- L'éolien est générateur d'emplois : 189 000 personnes en Europe estimé à 6 fois plus en 2020.</li> </ul>																																													
<p><b>INCONVENIENTS</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energie intermittente dépendant des conditions météo. Ceci nécessite le stockage de l'énergie électrique, et une prise en compte de ce facteur par la gestion du réseau RTE.</li> <li>- Nuisance visuelle notamment pour les parcs importants ; l'esthétique d'une éolienne est une affaire de goût mais qui déprécie généralement l'immobilier à proximité.</li> <li>- Nuisance sonore : distance mini des habitations 500 m. Le niveau sonore des nouvelles éoliennes est nettement amélioré. Pas gênant en offshore.</li> <li>- Impact négatif sur la biodiversité : selon la ligue de protection des oiseaux, une dizaine d'oiseaux sont tués par parc et par an, contre 40 à 120 par an et par km de ligne électrique.</li> <li>- Le coût de l'énergie éolienne est actuellement plus élevé que le nucléaire en raison du prix de rachat par EDF supérieur au coût du marché et du coût du nucléaire artificiellement bas. Ce coût devrait baisser rapidement : en 2010, 1MW d'éolien terrestre coûte 1.2 million d'€, et pourrait baisser à 0.7 M€ en 2020 selon EWEA, contre 3.6 M€ pour 1 MW estimé pour un réacteur EPR.</li> <li>- Délais administratifs longs : 8 ans en France contre 4.5 ans en moyenne en Europe pour construire un parc éolien.</li> </ul>																																													

# TRANSITION ENERGETIQUE

## ETAT DES LIEUX



## QUE SE PASSE-T'IL SI ON NE FAIT RIEN ?

**Du fait du dépassement du pic pétrolier et gazier** la demande d'énergie va rapidement dépasser l'offre entraînant la pénurie d'énergie, la hausse des prix, la récession économique mondiale, l'instabilité géopolitique (risques de guerres), la diminution du niveau de vie et les risques de famines.

**L'augmentation des rejets de gaz à effet de serre** du fait de l'utilisation des ressources fossiles, conduit au réchauffement climatique de la planète : 4° suffisent pour entraîner des catastrophes irréversibles.

- fonte des glaciers et de la banquise entraînant la montée du niveau des océans de quelques dizaines de cm, donc inondation des terres basses, donc migration de population
- augmentation des précipitations aux latitudes élevées et diminution dans les régions subtropicales ; à l'horizon 2025, un tiers de la population mondiale pourrait se trouver en manque d'eau, donc migration
- dégazage important de méthane des pergélisols (ou permafrost : sous-sol gelé en permanence) et des fonds marins créant un emballement du réchauffement climatique
- effondrements de cavités souterraines (3 000 communes sont soumises à ce risque en France, hors risque d'« affaissement minier » selon l'INERIS)
- dépassement du seuil dangereux du CO<sub>2</sub> dans l'air

**La multiplication des centrales nucléaires et leur vieillissement** augmente le risque d'accident nucléaire avec toutes les conséquences environnementales, sanitaires et économiques. L'augmentation des déchets nucléaires est un problème pour des milliers d'années, les risques sont donc énormes.

## ALORS QUE FAIRE ?

Pour diminuer les risques de catastrophes annoncées, les possibilités d'actions sont les suivantes :

- Anticiper la pénurie des sources d'énergie fossile et fissile.
- Diminuer voire supprimer l'émission de Gaz à Effet de Serre (le CO<sub>2</sub> en premier lieu), donc ne plus exploiter les sources d'énergie fossiles (charbon, pétrole, gaz) et ne pas en rechercher de nouvelles.
- Diminuer le risque d'accident nucléaire et minimiser la quantité de déchets nucléaires, en abandonnant le nucléaire.

Les économies d'énergie sont indispensables car il est impossible de fournir de l'énergie à toute la population (actuellement 7 milliards et 8 prévus pour 2050) avec la consommation actuelle des pays occidentaux.

- Sobriété : supprimer les consommations inutiles (éclairage public, panneau publicitaire lumineux, relocalisation des activités et des commerces, transports en commun ...)
- Efficacité : réduire les consommations par des technologies qui diminuent le gaspillage (isolation des habitations, suppression du chauffage électrique, appareils basse consommation ...)

Il faut donc développer massivement les énergies renouvelables : solaire, éolien, hydrolien, hydraulique, biomasse.

- développer la recherche autour de ces énergies renouvelables
- multiplier les solutions technologiques car aucune ne peut couvrir seule nos besoins
- produire le plus local possible pour éviter les pertes dans le transport d'énergie
- choisir les sources d'énergie qui sont le mieux adaptées au contexte local et temporel

## COMMENT LE FAIRE ?

La transition énergétique est le passage entre l'état actuel des sources d'énergie et l'état prévu au terme de cette période de transition. L'état actuel est connu, il faut donc définir l'état à atteindre (estimation de la population, des économies possibles et des besoins en énergie) et le délai pour y arriver ; il y a donc beaucoup de manières d'envisager cette transition.

Cette transition énergétique n'est possible que s'il y a la volonté politique pour la faire. Cela peut nécessiter des changements profonds de société et une remise en cause des habitudes de chacun.

- Taxe sur l'énergie pour imposer la sobriété
- Droit à l'énergie pour assurer la part vitale (chauffage, éclairage, cuisson des aliments ...)
- Lois pour inciter les industriels vers des solutions technologiques « basse consommation »
- Choix stratégiques effectués avec ou par la population civile
- Abandon du mythe de la croissance

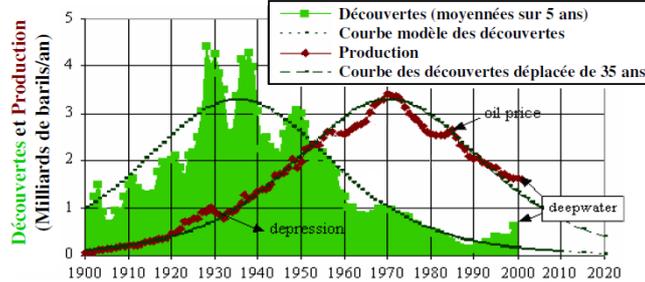
Les différents scénarii (Négawatt, Sortir du Nucléaire, ...) ne sont pas forcément comparables; certains prônent le simple remplacement d'une énergie par une autre, d'autres sont plus axés sur le changement de société.

**FICHE TECHNIQUE**

**TRANSITION ENERGETIQUE**

**PIC DE HUBBERT**

Toute production de ressource fossile ou minière répond au modèle de Hubbert (courbe en cloche). La surface définie par la courbe et l'axe horizontal représente la quantité globale de la ressource. L'étalement de la courbe dépend du mode d'exploitation. Le point haut définit la date de production maximale ; à partir de là, la production décline plus ou moins vite.



Les découvertes de nouvelles ressources répondent à la même loi ; la courbe précède dans le temps celle de la production. Une nouvelle découverte ne change pas le pic mais ralentit le déclin. Exemple de la production de pétrole des USA (source ASPO).

Les pays producteurs surestiment leurs réserves pour des raisons stratégiques, ce qui rend l'estimation des pics de pétrole, gaz et charbon difficile. En 2005, l'AIE (Agence Internationale de l'Énergie) prévoit le pic pétrolier en 2030 ; en 2010, elle l'annonce pour 2006 ! Total le repousse en 2030 en raison du biocarburant et du pétrole non conventionnel (s'ils sont exploités) : ces nouvelles ressources n'étant pas connues, et très surestimées, cela paraît très approximatif et voisin de l'intox.

**BILAN ENERGETIQUE**

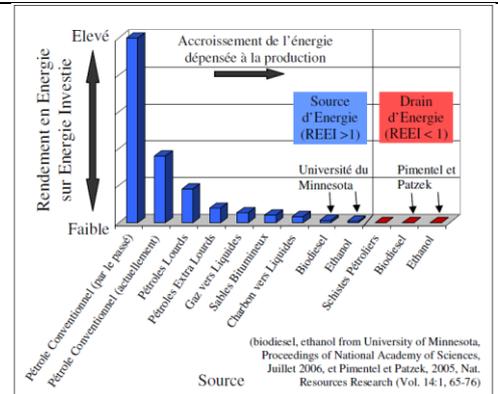
Le bilan énergétique d'une source d'énergie :

**EROI ou REEI = Énergie Récupérée / Énergie Investie**

En 1930, l'EROI du pétrole était de 100 :1, soit 100 barils de pétrole extrait pour 1 baril consommé ; actuellement il est de 25 :1. L'EROI diminue dans le temps, car l'extraction est de plus en plus difficile.

Quand l'énergie investie est supérieure à l'énergie récupérée, on parle de drain d'énergie ; l'exploitation n'est pas raisonnable.

Si on tient compte du cycle de vie complet (recherche, extraction, traitement, dépollution, conséquences environnementales et sanitaires), alors l'EROI peut chuter considérablement.



**FAUSSES IDEES**

**Il est souvent annoncé que l'on a encore pour 40 ans de pétrole.**

Ce chiffre est obtenu en divisant les réserves de pétrole par la consommation actuelle.

Ce chiffre n'a aucune signification car :

- Le stock est surestimé pour des raisons stratégiques
- La demande n'est pas constante : l'augmentation en Chine, Inde est estimée à +44% d'ici 2030.
- La production d'un puits de pétrole n'est pas constante; elle diminue car la pression diminue.

**De la même manière il est annoncé que l'on a du charbon pour 170 ans à consommation constante.**

- Si la consommation augmente de 2.5% alors cela chute à 67 ans
- Actuellement l'augmentation de consommation est de 5% par an !

**UNITES**

Les équivalences entre sources d'énergie sont difficilement quantifiables du fait que les unités de mesure sont différentes suivant les pays et suivant les sources d'énergie ; le baril de pétrole n'a pas la même contenance entre les pays !

**Ordres de grandeur :**

K	Kilo	1 000	kWh = 1000 Wh
M	Méga ou Million	1 000 000	1 M = 1000 k
G	Giga ou milliard	1 000 000 000	1 G = 1000 M
T	Tera	1 000 000 000 000	1 T = 1000 G
P	Peta	1 000 000 000 000 000	1 P = 1000 T

**Unités d'énergie :**

Electricité	kWh kilo Watt heure MWh = 1000 kWh TWh = 1 milliard de kWh	Par ex, un réacteur nucléaire de 900 MW (puissance en Mégawatt) qui fonctionne 7000 h/an produit 6,3 TWh
Pétrole	tep tonne équivalent pétrole	1 tep = 41,868 GJ
Charbon	tec tonne équivalent charbon	1 tec = 29,307 GJ
Gaz	btu British thermal unit	1 btu = 1060 J

**Conversions :**

1 tep = 11,63 MWh = 1,43 tec = 1000 m3 de gaz = 7,33 barils de pétrole (équivalence conventionnelle)

Si on veut calculer l'équivalence d'une énergie finale (consommation) en énergie primaire (production), Il faut tenir compte du rendement du moyen de production (33% nucléaire, 38% centrale thermique).