

## 1. Energie renouvelable et renouvellement de l'énergie

Le débat sur les énergies renouvelables n'est qu'une réduction médiatique du problème plus global de l'énergie ou plus exactement du remplacement de nos chaînes énergétiques actuelles, limitées dans le temps, par d'autres plus pérennes.

Par chaînes énergétiques, il faut entendre l'ensemble des procédés et technologies permettant de transformer en travail une énergie primaire. Celle-ci pouvant être non-renouvelable (fossile : charbon, pétrole, gaz ou fissile : uranium) ou renouvelable (biomasse, vent, eau, soleil...).

Les chaînes énergétiques comprennent 3 étapes clés : tout d'abord la production d'énergie (objet du débat actuel), ensuite le stockage et le transport de cette énergie, enfin la restitution de l'énergie sous forme d'un travail.

## 2. Notion de rendement énergétique

*Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme ... Même l'énergie.*

Une chaîne énergétique va, par exemple, de transformation en transformation, en partant d'une énergie primaire fissile, permettre à un usager final de disposer d'une énergie mécanique.

*Energie nucléaire           ⇒   Energie thermique*  
*Energie thermique        ⇒   Energie électrique*  
*Energie électrique        ⇒   Energie mécanique*

Comme dans tout système, chaque étape de transformation engendre des pertes, ce qui réduit le rendement énergétique.

*Centrale nucléaire        ⇒   Rendement = 33%*  
*Transport d'électricité   ⇒   Rendement = 93% (du aux pertes en ligne)*  
*Appareil consommateur   ⇒   Rendement = 95% (moteur électrique industriel)*

Le rendement de cette chaîne énergétique sera donc de 29% (~1,5% seulement si l'électricité est utilisée à produire de la lumière). Par comparaison, la chaîne énergétique permettant à nos véhicule de rouler a un rendement d'environ 32% (raffinage = 94%, transport = 97,5%, moteur à combustion = 35%)

Le bilan énergétique global de la France en 2005 a été de 31%. C'est à dire que nos chaînes énergétiques permettent de restituer sous forme de travail 31% des ressources d'énergie primaire que nous consommons.

## 3. Production d'énergie

Comme le montre le tableau ci-dessous, le « bouquet » énergétique primaire de la France ne contient qu'environ 6,2% de ressources pérennes dans le temps. Il s'agit essentiellement du bois et de ses déchets (3,1%) et, dans une moindre mesure de l'énergie hydroélectrique (1,9%). Les autres sources d'énergie fossiles ou non (uranium) n'offrent que quelques dizaines d'années d'autonomie<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Cette pénurie annoncée, s'étend d'ailleurs à nombre de matières premières, indispensables à notre économie et à nos technologies. Voir tableau en annexe.

Ressources	Mtep	% Total
Gaz Naturel	40,3	14,60%
Charbon	12,7	4,60%
Déchets urbains non-renouvelable	1,2	0,43%
Pétrole	91,5	33,14%
Electricité (hors ENR)	113,4	41,07%
Autres dont :	17,02	6,16%
<i>Bois et déchets de bois</i>	8,60	3,12%
<i>Hydraulique</i>	5,2	1,87%
<i>Déchets urbains renouvelables</i>	0,46	0,17%
<i>Solaire</i>	0,06	0,02%
<i>Eolien</i>	0,4	0,13%
<i>Résidus de récoltes</i>	0,32	0,12%
<i>Géothermie</i>	0,21	0,08%
<i>Biogaz</i>	0,10	0,04%
<i>Pompes à chaleur</i>	0,59	0,21%
<i>Biocarburants</i>	1,17	0,43%
<b>Total</b>	<b>276,1</b>	<b>100,00%</b>

Source : Bilan énergétique de la France pour 2007 ([Observatoire de l'énergie](#))

De façon macroscopique, les sources d'énergie renouvelables sont les suivantes :

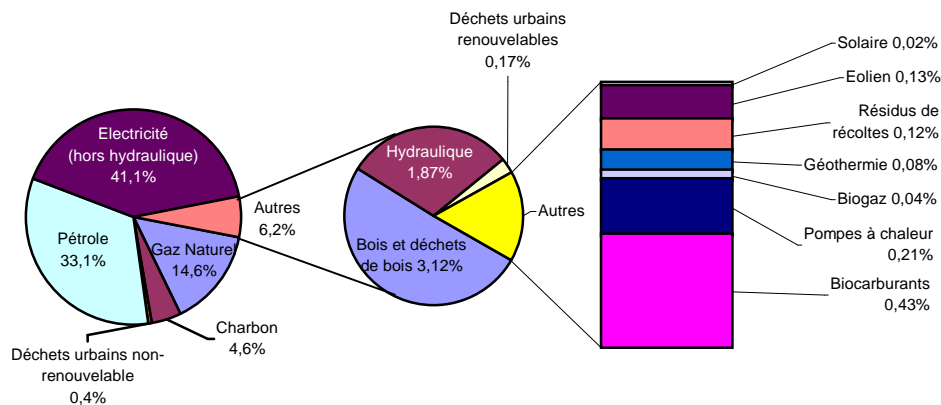
- **Biomasse** : Il peut s'agir, soit de ce que l'on appelle le pétrole vert (de l'herbe, quoi) qui peut être transformé en huiles brutes ou en éthanol<sup>2</sup>, soit du retraitement de déchets (boue d'épuration, déchets domestiques...) pouvant produire du gaz (essentiellement du méthane). Les procédés mis en œuvre dans le traitement de la biomasse sont de type biochimique (utilisant des bactéries). Pour sa part, le bois et ses déchets sont utilisés directement pour produire de l'énergie thermique (chauffage urbain).
- **Soleil** : Le soleil peut être utilisé soit pour produire de l'électricité par effet photovoltaïque, soit pour son potentiel calorique (production d'eau ou d'air chaud).
- **Vent** : Paradoxalement il s'agit d'une des premières sources d'énergie renouvelable (avec l'eau) exploitée par l'homme (moulins) et une des plus marginales actuellement (0,1% en France).
- **Géothermie** : Il s'agit d'utiliser l'eau chaude du sous-sol. Suivant sa température elle servira soit à alimenter les réseaux de chauffage ou d'eau chaude sanitaire (température comprise entre 30° et 100°), soit à produire de l'électricité (température supérieure 180°). Je classerai dans cette catégorie les pompes à chaleur qui assure un transfert d'énergie thermique entre un milieu externe (sous-sol, eau souterraine) et l'intérieur d'un bâtiment
- **Eau** : Exploitée quasiment à ses limites en France, l'énergie cinétique de l'eau stockée derrière les barrages ou captée au fil de l'eau est utilisée pour produire de l'électricité.

Les sources d'énergie non-renouvelables sont, pour leur part, connues :

<sup>2</sup> D'après un rapport parlementaire sur le sujet : "On ne peut considérer de la même façon les E.M.H.V. - huiles brutes végétales - qui réduisent très fortement l'émission de gaz à effet de serre, pour un bilan énergétique très positif, et l'E.T.B.E. - mélange d'éthanol et d'isobutène - dont le bilan énergétique est médiocre et dont l'intérêt en termes d'émission de CO2 est faible par rapport à l'essence. Or tous deux sont considérés comme biocarburants et c'est l'E.T.B.E. qui, malheureusement, se développe le plus en France actuellement". Voir page 5 le paragraphe traitant de l'agriculture.

- Charbon : Le charbon est utilisé pour moitié à la production d'électricité et pour 1/3 par l'industrie sidérurgique. Le reste sert à la production d'énergie thermique (industrie, chauffage urbain...)
- Gaz naturel : La production d'électricité au gaz progresse rapidement mais reste une utilisation marginale (7% du gaz consommé), du même ordre de grandeur que la consommation « non-énergétique » (production d'engrais). La plus grande partie du gaz naturel est donc utilisée à la production d'énergie thermique (dont 60% rien que pour le secteur résidentiel et tertiaire).
- Pétrole : Comme on peut s'en douter, les transports s'arrogent la part du lion dans la consommation du pétrole (54%). Pour le reste, la pétrochimie et le résidentiel tertiaire (chauffage au fuel) sont au coude à coude (15%)
- Uranium : Energie non fossile, l'uranium (après avoir subi un procédé d'enrichissement) est utilisé pour produire de l'électricité. Cette source d'énergie fait débat par rapport à sa dangerosité. Les sujets d'inquiétude sont de 2 ordres : D'une part la sécurité des installations et du transport des matières fissiles (syndrome Tchernobyl), d'autre part la problématique du traitement des déchets. A ce stade de mon exposé, je me contenterai de signaler le rendement particulièrement mauvais des centrales nucléaires (25 à 33%) comparé à d'autres centrales thermiques (jusqu'à 65% pour les centrales à gaz à cycles combinés).

La figure ci-dessous donne la part respective de chaque énergie primaire dans la consommation totale de la France



Source : Bilan énergétique de la France pour 2007 ([Observatoire de l'énergie](#))

#### 4. Stockage et transport de l'énergie

Le besoin en énergie finale d'un usager est indépendant des lieux et périodes de production de ladite énergie. Pour simplifier on utilise de l'électricité les jours sans vent, la nuit et pas seulement à coté des centrales nucléaires.

Le problème posé est donc d'adapter dans le temps et l'espace la distribution des énergies requises pour nos activités.

2 réponses cohabitent : d'une part stocker et transporter de l'énergie initiale (on parlera alors d'énergie de stock, c'est le cas des énergies fossiles), d'autre part stocker et transporter un vecteur énergétique (hydrogène) ou l'énergie finale, elle-même (électricité).

On peut stocker de l'énergie sous différentes formes :

- Sous une forme mécanique : En période creuse, EDF pompe de l'eau pour stocker son énergie cinétique potentielle dans les lacs de barrage
- Sous une forme thermique (chaleur) : Les pompes à chaleur utilisent la chaleur stockée dans la terre. C'est aussi le cas, plus simplement, des ballons d'eau chaude.
- Sous une forme chimique ou biochimique : Une batterie de voiture stocke de l'électricité sous forme chimique. C'est aussi le cas des énergies fossiles que la terre à gentiment stockées à notre intention pendant des millions d'années. La biomasse est, à la fois un stock d'énergie solaire (produit de la photosynthèse) et à l'origine des énergies fossiles<sup>3</sup>.
- Sous une forme nucléaire : Ce moyen de stockage est ultra-performant (1/10 de gramme d'uranium contient autant d'énergie que 25 kilogrammes de batterie au plomb) mais beaucoup plus délicat à manier que les autres formes.

Ces formes de stockage se différencient par leur facilité de mise en œuvre et leur rendement. Le tableau ci-dessous, emprunté à Jean-Marc Jancovici, donne un aperçu des masses qu'il faut mettre en jeu pour "stocker" l'équivalent d'un kg de pétrole.

Masse requise pour stocker l'équivalent d'un kg de pétrole (11,6 kWh - 1,3 litre en gros)						
Bois	Batteries plomb acide	Hydrogène comprimé	Masse en mouvement	Eau en altitude	Uranium	Chaleur
2,22 kg quelques m <sup>2</sup> de surface mobilisés sur un an	plus de 300 kg de batteries	de 15 à 30 kg de réservoir, occupant un peu moins de 30 litres	2 camions de 40 tonnes lancés à 116 km/h	43 tonnes d'eau pouvant effectuer 100 m de chute	1 milligramme	10 °C d'élévation de la température pour 1 tonne d'eau, ou 50 °C d'élévation pour 200 kg d'eau

Source : <http://www.manicore.com/>, article « Est-ce facile de stocker l'énergie ? » janvier 2003

Le transport de l'énergie intervient à différents stades :

- Entre le lieu d'extraction (puits de pétrole, mine d'uranium ...) et le lieu de production d'énergie finale (raffinerie, centrale nucléaire ...)
- Entre le lieu de production et le lieu de distribution (station service, réseau haute-tension ...)
- Entre le lieu de distribution et le lieu d'utilisation (réservoir de voiture, réseau moyenne et basse tension ...)

Ce transport consomme lui-même de l'énergie (voir chapitre 2 ci-dessus) et engendre des pertes réduisant le rendement de la chaîne globale.

<sup>3</sup> Environ 1% de la biomasse est transformée en kérogène (résidu de l'activité des bactéries anaérobies). Sous l'effet de la chaleur et de la pression, environ 1% du kérogène se transforme en charbon (10<sup>-4</sup> de la biomasse initiale), 0,003% en pétrole (3.10<sup>-7</sup> de la biomasse initiale) et 0,003% en gaz. Source [http://culturesciences.chimie.ens.fr/dossiers-dossierstransversaux-EEDD-Combustibles\\_Fossiles\\_Demirdjian.html](http://culturesciences.chimie.ens.fr/dossiers-dossierstransversaux-EEDD-Combustibles_Fossiles_Demirdjian.html)

## 5. Restitution de l'énergie

Une fois l'énergie mise à disposition de l'utilisateur final sur le lieu et au moment de son utilisation, celle-ci va être transformée en travail. Le rendement de cette partie de nos chaînes énergétiques est globalement de 51%. C'est à dire que la moitié de l'énergie mise à la disposition des usagers n'est pas utilisée à produire un travail utile mais disparaît, principalement en chaleur<sup>4</sup>. Ce rendement est dépendant à la fois de l'utilisation souhaitée (se chauffer, se déplacer, construire un bien manufacturé, produire de la viande...), donc du secteur d'activité et du type d'énergie finale mis à contribution.

Le tableau suivant donne la répartition de la consommation d'énergie par secteur (en Mtep et en %), en France :

Type d'énergie	Résidentiel et tertiaire		Agriculture		Industrie		Sidérurgie		Transport		Total	
Charbon	0,4	0,2%	0,0	0,0%	1,5	0,9%	4,7	2,9%	0,0	0,0%	6,6	4,0%
Gaz naturel	22,8	14,0%	0,3	0,2%	11,8	7,3%	0,6	0,4%	0,1	0,0%	35,6	21,9%
Produits pétroliers	13,9	8,6%	2,2	1,3%	5,9	3,6%	0,0	0,0%	49,0	30,1%	71,0	43,7%
Electricité	24,4	15,0%	0,3	0,2%	10,6	6,5%	1,0	0,6%	1,1	0,6%	37,3	23,0%
ENR (hors électricité)	9,2	5,7%	0,1	0,0%	1,4	0,9%	0,0	0,0%	1,5	0,9%	12,2	7,5%
<b>Total</b>	<b>70,6</b>	<b>43,4%</b>	<b>2,8</b>	<b>1,7%</b>	<b>31,3</b>	<b>19,3%</b>	<b>6,3</b>	<b>3,9%</b>	<b>51,6</b>	<b>31,7%</b>	<b>162,6</b>	<b>100,0%</b>

Source : Bilan énergétique de la France pour 2007 ([Observatoire de l'énergie](#))

- Résidentiel et tertiaire :  
Pour se faire une idée du rendement énergétique associé à ce secteur d'activité, il convient d'aller plus loin dans la segmentation de la consommation d'énergie par usage et par combustible :

Type d'énergie	Chauffage	Eau Chaude et cuisson	Electricité spécifique	Total
Charbon	1,8%	0,1%	0,0%	2,0%
Gaz Naturel	28,8%	5,7%	0,0%	34,5%
Produits Pétroliers	18,2%	3,4%	0,0%	21,6%
Electricité	7,3%	5,0%	17,2%	29,5%
ENR (hors électricité)	12,4%	0,0%	0,0%	12,4%
<b>Total</b>	<b>68,5%</b>	<b>10,5%</b>	<b>17,2%</b>	<b>100,0%</b>

Adapté de [Observatoire de l'énergie](#) (données 2003). La répartition entre Chauffage et Eau chaude sanitaire est différente suivant les statistiques consultées. La part du chauffage varie entre 61% et 68,5%.

- **Chauffage** : Le rendement des chaudières est plutôt satisfaisant (60 à 85%) et celui des convecteurs électriques excellent (~100%). Le problème se situe au niveau de l'isolation des logements. Si l'on considère que le rendement du chauffage d'un logement mal isolé<sup>5</sup> est d'environ

<sup>4</sup> A titre d'exemple, lorsque l'on dit qu'une lampe à incandescence a un rendement d'environ 5%, cela signifie que 95% de l'électricité consommée ne sert pas à produire de la lumière mais part en chaleur. En comparaison une lampe fluorescente aura un rendement d'environ 20%. C'est à dire qu'avec 4 fois moins d'énergie, elle aura la même efficacité lumineuse, mesurée en Lumen.

<sup>5</sup> On appellera « logement mal isolé », un logement construit avant 1975, date de l'entrée en vigueur de la première réglementation en faveur de l'efficacité énergétique. 65% des 29,3 millions de logements français sont de ce type. Au rythme actuel des réhabilitations, la remise à niveau de ce parc ne sera pas achevée avant 2050. Source : [Etude sur la consommation de chauffage](#) et [Livre blanc sur les énergies](#)

40%, la mise aux normes permettrait une économie d'énergie de plus de 10% de l'ensemble du secteur résidentiel et tertiaire.

- Eau chaude et cuisson : Comme, les mauvais rendements sont majoritairement dus à une production de chaleur parasite par rapport à l'utilisation souhaitée et qu'il s'agit justement là de l'effet recherché, ce poste est un des rares où le rendement est proche de 100%.
- Electricité spécifique : Par électricité spécifique, il faut comprendre : la part d'électricité que nous ne pourrions remplacer par une autre source d'énergie (éclairage, ascenseur, électroménager...). La production de froid est le premier poste de consommation (35%), suivi par l'éclairage (20%) et le lavage (15%).

Les rendements énergétique de ce segment est très variable. L'éclairage avec un rendement d'environ 5% pour les lampes à incandescence et de 20% pour les tubes à fluorescence tient la lanterne rouge.

Le rendement des autres appareils électroménagers (appareils de production de froid, lave-linge, sèche-linge...) dépend des caractéristiques et des fonctions des appareil (la présence d'une fabrique automatique de glaçons peut augmenter jusqu'à 20% la consommation énergétique d'un réfrigérateur), de sa classe énergétique (étiquette A++, A+, A, B, C...), de la température de la pièce, des conditions d'utilisation. On peut estimer que ce rendement peut varier de 30% à 50%, ce qui semble une limite supérieure pour ce type d'équipement.

- Agriculture :

L'agriculture consomme de l'énergie pour assurer ses productions, sous différentes formes :

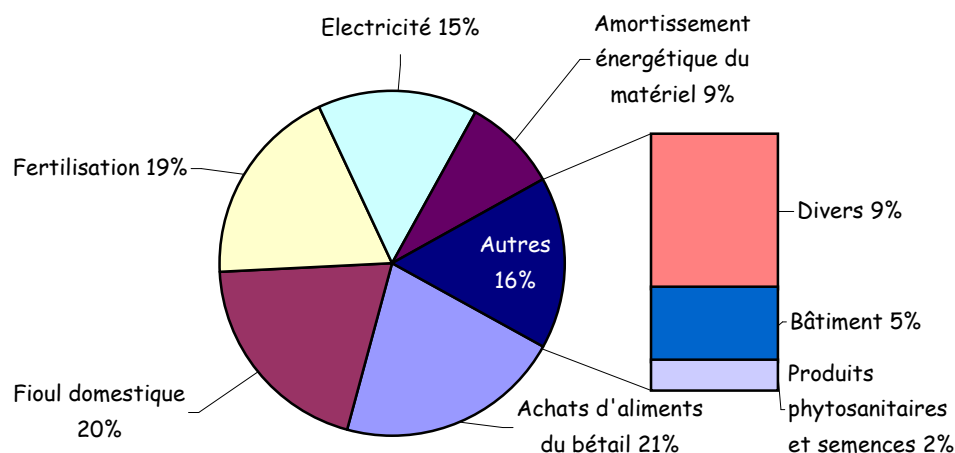
- D'une part sous forme « d'énergie directe » (38% de la consommation totale) telle que le carburant consommé par les tracteurs, l'électricité pour chauffer les bâtiments...
- D'autre part sous forme « d'énergie indirecte » (62% de la consommation totale) utilisée pour la fabrication des intrants : engrais, produits phytosanitaire, matériels...

Par ailleurs, contrairement à la plupart des autres secteurs d'activités, l'agriculture a aussi la capacité de produire de l'énergie. Grâce à la photosynthèse, elle fixe du gaz carbonique ( $CO_2$ ) et de l'eau pour produire des hydrates de carbone (biomasse).

La répartition de la consommation moyenne d'énergie directe et indirecte de l'ensemble des exploitations est donnée par le graphique ci-dessous<sup>6</sup> :

---

<sup>6</sup> La variabilité de la consommation énergétique dépend des types de production agricoles et, au sein des productions, des exploitations. Si une exploitation « bovin lait strict » a un modèle de consommation très proche du graphe présenté, le poste fertilisation d'une exploitation grande culture atteint 45% de la consommation totale ou bien encore le poste alimentation d'une exploitation « viande de porc strict » en représente 50%.



Source : Synthèse 2006 des bilans PLANETE<sup>7</sup> (<http://www2.ademe.fr>)

L'analyse énergétique comparée des différents systèmes de production permet d'estimer leur efficacité à produire de l'énergie sous forme d'animaux ou de végétaux :

- Production bovin lait strict : 86%
- Production viande strict : 38%
- Grandes cultures : 560%

Outre la très grande disparité entre les rendements énergétiques des différentes productions, il convient de ne pas les assimiler à ceux de la chaîne alimentaire globale (non-traitée ici) qui doit prendre en compte l'énergie nécessaire pour la transformation des aliments (beaucoup plus faible pour la viande, que pour les productions céréalières, par exemple) et à leurs transports (production locale ou lointaine).

Nous ne pouvons pas traiter du rendement énergétique des exploitations agricoles sans aborder la question des biocarburants. Le tableau ci-dessous présente le rendement énergétique des principales cultures servant à les produire par rapport à l'énergie non-renouvelable mobilisée.

	Rendement énergétique	Energie Brute (tep / ha)	Energie Consommée (tep / ha)	Energie nette produite (tep / ha)
Essence	88%			
Ethanol (blé)	204%	1,76	1,72	0,04
Ethanol (betterave)	200%	3,98	3,22	0,76
Diesel	91%			
Biodiesel (colza)	294%	1,37	0,50	0,87
Biodiesel (tournesol)	313%	1,06	0,29	0,77

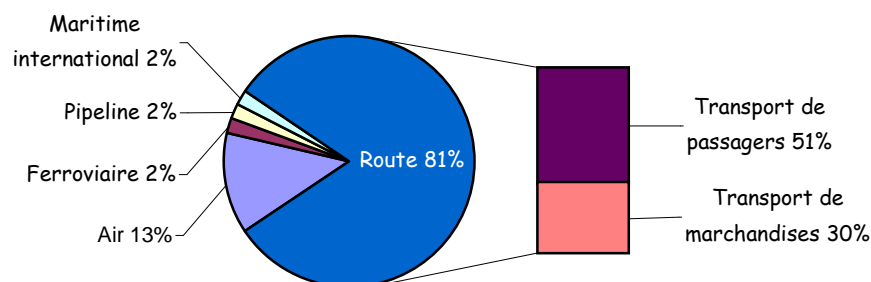
Source : Etude ADEME/DIREM de 2002 « bilan énergétique et émission de GES des filières de biocarburants en France » (<http://www2.ademe.fr>).

<sup>7</sup> Il ne s'agit pas à proprement parler de statistiques, car ces données ne sont pas issues d'un échantillon représentatif, mais d'une analyse des bilans énergétiques des exploitations agricoles (948) participant à ce programme.

Sachant que seule la filière huile (biodiesel) est transposable à nos véhicules actuels sans nécessiter de modification importante, si l'on considère le colza (qui d'ailleurs représente le cas le plus favorable), on voit qu'il faudrait consacrer 25 000 km<sup>2</sup> de terre arable<sup>8</sup> à cette culture pour remplacer le pétrole consommé par la seule agriculture. Cela représente 14% des terres arables utilisés soit 2 fois la surface des terres actuellement en jachères (12 300 km<sup>2</sup>).

Tant qu'à remplacer tout le pétrole consommé en France (91,5 Mtep) n'y songeons pas il faudrait disposer de 1 000 000 km<sup>2</sup> soit 2 fois la surface totale de la France, ou encore plus de 3 fois notre SAU.

- Industries :  
A compléter
- Transports :  
Utilisant pour 97% de l'énergie fossile<sup>9</sup> et avec des moteurs aux rendements médiocres (25% à 40%), seul l'adoption d'un carburant sans contenu en carbone (électricité, hydrogène, air comprimé) et donc une nouvelle technologie permettra de trouver une « solution finale » au problème posé. Outre que cette technologie n'est pas disponible ou tout du moins pas parvenue à un stade industriel actuellement, il faut avoir présent à l'esprit que son introduction nécessitera plus de 10 ans pour atteindre une pénétration de 50% et près de 25 ans pour une pénétration de 95%.



Source : [panorama 2005, la consommation d'énergie dans la domaine des transports](#) (IFP, estimation 2001)

<sup>8</sup> La surface agricole utile (SAU) est un concept statistique destiné à évaluer le territoire consacré à la production agricole. La SAU est composée des terres arables (grande culture, cultures maraîchères, prairies artificielles...), des surfaces toujours en herbe (prairies permanentes, alpages), et des cultures pérennes (vignes, vergers...). Elle n'inclut pas les bois et forêts. Elle comprend en revanche les surfaces en jachère (comprises dans les terres arables).

En France, la SAU représente environ 29 millions d'hectares (290 000 km<sup>2</sup>), soit 54 % du territoire national (543 965 km<sup>2</sup> pour la France métropolitaine, 675 417 km<sup>2</sup> en incluant les DOM/TOM).

Elle se répartit en terres arables pour 62 % (180 000 km<sup>2</sup>), en surfaces toujours en herbe pour 34 % (98 000 km<sup>2</sup>) et en cultures pérennes pour 4 % (12 000 km<sup>2</sup>). [Insee - Stat sur les exploitations agricoles](#).

<sup>9</sup> Le secteur du transport est une source mobile de pollution, responsable de 21% des émissions mondiales de CO<sup>2</sup>.

## 6. Recherches en cours

### 6.1. Aujourd'hui

#### A compléter

Prospection de nouveaux gisements d'énergie primaire

Amélioration des procédés et du rendement

Diviser par 2 les pertes des chaînes énergétiques permettrait d'économiser, sans changer nos modes de vie 50% des énergies primaires que nous utilisons. C'est à dire l'équivalent de notre consommation d'énergie fossile. Est-ce utopique ? Peut-être pas, mais les efforts sont gigantesques : Il faudrait améliorer d'un facteur 2 le rendement des centrales nucléaires, celui des moyens de transport, celui de nos logements et bureaux...

C'est pourquoi, il est essentiel de favoriser, sans attendre, la pénétration des véhicules à faible consommation (amélioration du rendement) ou à technologie hybride, qui eux sont disponibles.

Rapprocher la production de l'utilisation finale

### 6.2. Et demain

#### A compléter

Remplacement des énergies fossiles :

- Energie nucléaire (fission, surgénération, fusion)
- Energies renouvelables.

L'électricité comme vecteur ultime

Les condensateurs comme alternatives aux batteries

Vecteur hydrogène

## 7. Conclusion

Il n'existe pas de solution miracle à la crise de l'énergie, mais un ensemble de mesures qui devra apporter une réponse aux problèmes environnementaux et à la réduction de la fracture nord-sud. Exclure de ces mesures, pour des raisons dogmatiques, le nucléaire est aussi absurde que nier les problèmes liés au recyclage des déchets de cette industrie.

Seule l'approche scientifique et dépassionnée permettra d'établir un bilan, de définir les axes recherches et d'élaborer un portefeuille de mesures concrètes. A charge ensuite pour les politiques de mettre ces mesures en œuvre dans la concertation<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> En France, [Le Grenelle de l'environnement](#) préfigure ce type de démarche

## 8. Annexes

### 8.1. Réserves Mondiales Disponibles

Métaux	Réserve (en kT)	Durée approximative
Argent	570	28 ans
Cuivre	940 000	63 ans
Fer	180 000 000	118 ans
Indium	6	13 ans
Nickel	140 000	93 ans
Or	90	37 ans
Platine	80	184 ans
Plomb	140 000	43 ans
Uranium	4 743	85 ans
Zinc	460 000	45 ans
Energies fossiles	Réserve (en Giga TEP)	Durée approximative
Charbon	509	204 ans
Gaz naturel	143	61 ans
Pétrole	140	39 ans

Source : [Sciences & Vie](#) Hors-série n°263 et [Observatoire de l'énergie](#)

### 8.2. Unités de mesure : définitions et équivalence

- 1 Joule (unité S.I.), c'est l'énergie emmagasinée par une masse de 2 kg se déplaçant à une vitesse constante de 1 m/s (3,6 km/h)
- 1 calorie c'est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à 1 gramme d'eau pour augmenter sa température de 14,5 à 15,5 °C
- 1 calorie = 4,18 Joules
- La puissance mesure la capacité d'un organisme ou d'une machine à fournir de l'énergie. On mesure la puissance en Watt (et ses multiples KW, MW...)
  - 1 Watt = 1 Joule par seconde  $\Rightarrow$  1 Wh (Watt heure) = 3 600 Joules
  - 1 Tep (Tonne équivalent pétrole) = 11,626 MWh
  - 1 Tep = ~1200 EQF (litres de fioul domestique) ou 3000 Kg de bois sec

### 8.3. Pour aller plus loin

Comme vous pouvez vous en douter, je n'ai rien inventé, ni les chiffres, ni les questions, ni les solutions, ni même ma conclusion. Je ne suis contenté de présenter suivant un plan me paraissant cohérent (mais probablement avec moins de talent), les éléments collectés au fil de mes lectures et mes surfs sur le WEB, en essayant de me focaliser sur le problème de la raréfaction des énergies fossiles. Pour aller plus loin et éventuellement vous faire peur je vous conseillerai la lecture attentive des articles et documents suivant :

- [Limits to Growth, The 30-Year Update](#)
- [Le rapport Brundland](#)
- [Le rapport du GIEC sur les changements climatiques](#)
- [Les statistiques du ministère de l'industrie](#)
- [Les articles de Jean-Marc Jancovici](#)
- [Un Autre Paysage Energétique Possible de Christian Couturier – Juin 2002](#)