

CH 3 - Énergie, choix de développement et futur climatique

Programme officiel :

Thème 2 : Le futur des énergies

Introduction et enjeux.

La consommation d'énergie joue un rôle essentiel dans le développement des sociétés humaines. Depuis la révolution industrielle, ce dernier s'est appuyé largement sur les combustibles fossiles dont l'utilisation est la principale cause du changement climatique. Produire de l'énergie sans contribuer au changement climatique ou à la dégradation de la planète est devenu un enjeu majeur de la transition écologique.

Objectifs.

Il est essentiel d'identifier les effets, sur la production de gaz à effet de serre, de la fabrication puis de l'usage de tout produit de consommation. L'identification d'autres effets collatéraux, notamment sur l'environnement et la santé, est importante.

Dans le secteur de l'énergie, l'électricité joue depuis deux siècles un rôle particulier. Produire de l'électricité sans contribuer au réchauffement climatique, en concevoir le stockage sous d'autres formes, assurer son transport, sont des enjeux fondamentaux à prendre en compte dans un contexte de transition écologique.

2.3 — Énergie, choix de développement et futur climatique

La consommation mondiale d'énergie, en forte augmentation, fait majoritairement appel aux combustibles fossiles dont l'utilisation est la principale cause du changement climatique.

Les activités humaines modifient de manière rapide certains flux associés au cycle du carbone. Dans ce contexte, l'estimation d'une empreinte carbone est essentielle pour élaborer des scénarios et fixer des objectifs de réduction.

Les différents scénarios de l'évolution globale du climat dépendent des stratégies que l'humanité mettra en œuvre.

La notion de risques étudiée au collège et en classe de seconde est convoquée.

Savoirs	Savoir-faire
<p>L'énergie utilisée dans le monde provient d'une diversité de ressources parmi lesquelles les combustibles fossiles dominent.</p> <p>Leur consommation est très inégalement répartie selon la richesse des pays et des individus.</p> <p>La croissance de la consommation globale (doublement dans les 40 dernières années) est directement liée au modèle industriel de production et de consommation des sociétés.</p> <p>En moyenne mondiale, cette énergie est utilisée à parts comparables par le secteur industriel, les transports, le secteur de l'habitat et dans une moindre mesure par le secteur agricole.</p> <p>Les énergies primaires sont disponibles sous forme de stocks (combustibles fossiles, uranium) et de flux (radiatif solaire, géothermique et des marées).</p>	<p>Utiliser les différentes unités d'énergie (tonne équivalent pétrole (tep), kilowattheure (kWh), etc.).</p> <p>Exploiter des données de production et d'utilisation d'énergie à différentes échelles (mondiale, nationale, locale, individuelle).</p> <p>Comparer quelques ordres de grandeur d'énergie et de puissance : corps humain, objets du quotidien, moteurs, centrale électrique, flux radiatif solaire, etc.</p> <p>↔ Organisation et exploitation de données.</p> <p>↔ Lectures graphiques.</p> <p>↔ Puissances de 10, ordres de grandeur.</p> <p>↔ Conversion d'unités, proportionnalité.</p> <p>↔ Grandeurs quotients.</p>
<p>Le carbone est stocké dans plusieurs réservoirs superficiels. L'élément carbone circule entre ces différents réservoirs terrestres, constituant le cycle du carbone. Les combustibles fossiles se sont formés à partir du carbone contenu dans la matière organique des êtres vivants, résultant de la réduction du CO₂ par photosynthèse il y a plusieurs dizaines à plusieurs centaines de millions d'années. Ils ne se renouvellent pas suffisamment vite pour que les stocks se reconstituent : ces ressources en énergie sont qualifiées de non renouvelables.</p>	<p>Analyser un schéma représentant le cycle biogéochimique du carbone pour comparer les stocks des différents réservoirs et identifier les flux principaux de carbone d'origine anthropique ou non.</p> <p>Citer les ordres de grandeur des durées nécessaires aux transformations du carbone.</p>

<p>La combustion de carburants fossiles et de biomasse libère du dioxyde de carbone, également des aérosols et d'autres substances (N₂O, O₃, suies, produits soufrés) qui affectent la qualité de l'air inhalé et la santé.</p>	<p>Ajuster l'équation d'une réaction chimique d'oxydation par le dioxygène. Comparer la masse de dioxyde de carbone produite par unité d'énergie dégagée pour différents combustibles. Distinguer ozone stratosphérique et troposphérique. À partir de documents épidémiologiques, identifier et expliquer les conséquences sur la santé de certains polluants atmosphériques, telles les particules fines résultant de combustions. ↔ Grandeurs et mesures. ↔ Grandeurs quotients.</p>
<p>L'empreinte carbone d'une activité ou d'une personne est la masse de CO₂ produite directement ou indirectement par sa consommation d'énergie et/ou de matière première.</p>	<p>À partir de documents, analyser l'empreinte carbone de différentes activités humaines et proposer des comportements pour la minimiser ou la compenser.</p>
<p>Les scénarios de transition écologique font différentes hypothèses sur la quantité de GES émise dans le futur. Ils évaluent les changements prévisibles, affectant les écosystèmes et les conditions de vie des êtres humains, principalement les plus vulnérables. Les projections fournies par les modèles permettent de définir les aléas et peuvent orienter les prises de décision. Dans le domaine énergétique, le choix des mesures d'adaptation et d'atténuation doit tenir compte de nombreux critères et paramètres : disponibilité des ressources et adéquation aux besoins, effets (climatique, écologique, sanitaire, agricole), vulnérabilités et gestion des risques, faisabilité, conséquences économiques et sociales. Les durées longues, liées à l'inertie de certains systèmes (infrastructures énergétiques, transports, production industrielle), sont à confronter à l'urgence de l'action. La transition écologique des sociétés repose sur la créativité scientifique et technologique (recherche de diversification ou d'évolution des ressources, mix énergétique, etc.) et sur l'évolution des comportements individuels et collectifs (consommation, déplacements, etc.).</p>	<p>Discuter des incidences de l'augmentation du CO₂ sur le développement de la végétation. Analyser des extraits de documents du GIEC ou d'accords internationaux. Analyser d'un point de vue global les incidences de choix énergétiques majeurs : exemple du nucléaire en France. Dans une étude de cas, analyser des choix énergétiques locaux selon les critères et les paramètres mentionnés. ↔ Organisation et exploitation de données. ↔ Lectures graphiques. ↔ Ordres de grandeur.</p>

CH 3 - Énergie, choix de développement et futur climatique

1. Ressources et consommation d'énergie

1.1. Rappels sur l'énergie

L'**énergie E** s'exprime en **joule (J)**.

La **puissance P** correspond à l'énergie transformée en **1 seconde** et s'exprime en **watt W**.

$$P = E / t \quad \text{ou} \quad E = P \times t$$

Le joule étant une unité très petite, on utilise couramment dans les usages domestiques le **wattheure (Wh)** et le **kilowattheure (kWh)**.

$$1 \text{ Wh} = 3\,600 \text{ J} \quad \quad 1 \text{ kWh} = 1\,000 \text{ Wh}$$

Pour quantifier des besoins plus grands on utilise la **tonne équivalent pétrole (tep)**.

$$1 \text{ tep} = 11\,630 \text{ kWh}$$

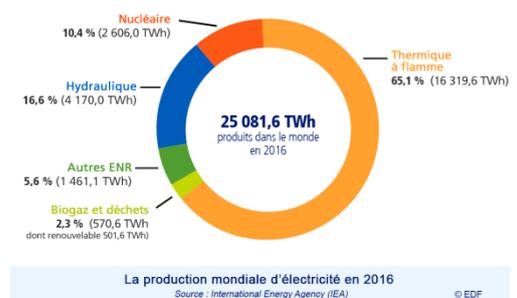
1.2. Les ressources disponibles

Les ressources d'énergie disponibles sont d'une grande diversité. On peut les classer en trois grandes familles : les combustibles fossiles, les énergies renouvelables et le nucléaire.

Les **combustibles fossiles** regroupent le **pétrole**, le **charbon** et le **gaz naturel** et représentent à eux seuls plus de 80% de la production totale ce qui en fait la ressource dominante, cependant les **stocks** sont limités.

Les **énergies renouvelables** comme la **géothermie**, le **solaire**, l'**éolien**, l'**hydraulique**, la **biomasse**, ... ne représentent qu'une petite partie de la production totale. Bien que ces énergies soient plus écologiques, leurs **flux** ne sont pas constants et le rendement des installations est moindre.

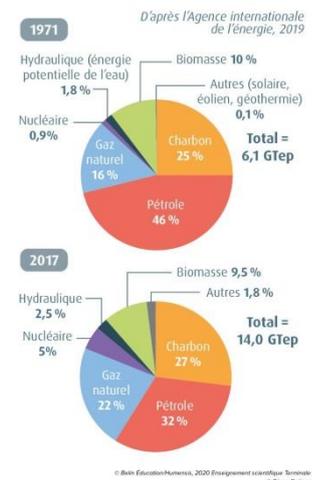
Le **nucléaire** utilise l'**uranium** et représente un peu plus de 10% de la production totale **en électricité**, cependant les **stocks** sont également limités.



1.3. La consommation mondiale

La consommation énergétique mondiale ne cesse d'augmenter du fait des activités humaines réparties à parts comparables entre les industries, les transports et l'habitat (et dans une moindre mesure par le secteur agricole).

La consommation est très inégalement répartie selon la richesse des pays et des individus et sa croissance est directement liée au modèle industriel de production et de consommation des sociétés.

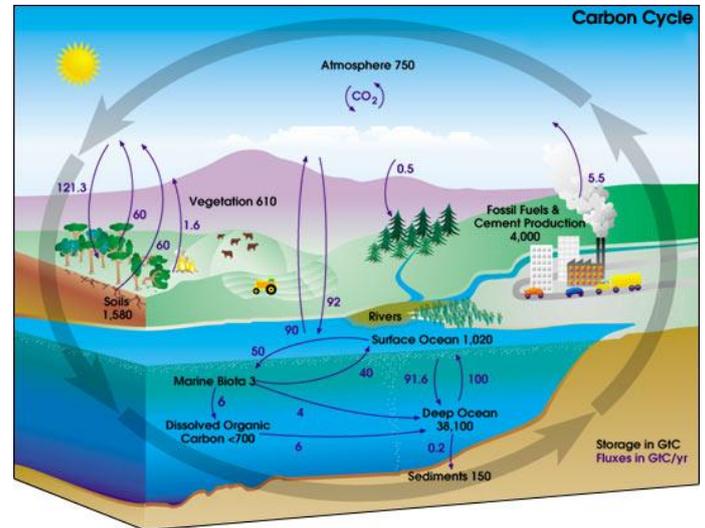


De nombreuses études plus ou moins sérieuses, plus ou moins détaillées, essaient d'évaluer le nombre d'années de production possible au rythme de la consommation actuelle. La complexité de la tâche (estimation des ressources disponibles et utilisables, prévisions de la consommation, ...) fait qu'il existe de grandes différences entre ces études. Plusieurs d'entre elles arrivent néanmoins à conclure que les stocks connus de pétrole et de gaz nous donnent une autonomie pour environ 60 ans, 150 ans pour le charbon et moins d'une centaine d'année pour le nucléaire.

2. Le cycle du carbone

Le carbone est un élément indissociable du vivant, il représente 18% de la matière organique. Ainsi, pour que la vie continue le carbone doit être recyclé. C'est ce qui est schématisé au travers du **cycle du carbone**.

Le carbone est stocké dans plusieurs **réservoirs** superficiels : l'atmosphère, les sols, les océans, la biosphère et les roches. Les échanges de carbone entre ces réservoirs sont quantifiés par des **flux** (en tonne/an) d'origine **anthropique** (fait par l'homme) ou **naturelle**. Les quantités de carbone dans les différents réservoirs sont constantes lorsque les flux sont équilibrés.



https://fr.wikidia.org/wiki/Cycle_du_carbone

Dans les roches sédimentaires, des **combustibles fossiles** se sont formés à partir du carbone des êtres vivants, il y a plusieurs dizaines à plusieurs centaines de millions d'années. Ils ne se renouvellent pas suffisamment vite pour que les stocks se reconstituent : ces ressources en énergie sont dites **non renouvelables**.

3. CO₂ et autres polluants

3.1. La combustion de carburants fossiles

Quel que soit le combustible fossile utilisé, la réaction chimique de combustion suit le principe suivant :



Les combustibles fossiles représentant 80% de la production totale, le dioxyde de carbone (CO₂) est donc produit en grande quantité et est devenu la principale cause du réchauffement climatique.

Exemple de la combustion du méthane :

L'équation de combustion du méthane (le gaz naturel) s'écrit :



Donc chaque molécule de méthane qui réagit, va former une molécule de dioxyde de carbone. Le rapport est donc de **1**.

Cette transformation libère **50 kJ** d'énergie thermique par gramme de méthane.

Attention : 1g de méthane ne va pas donner 1g de CO₂ car les molécules n'ont pas la même masse.

Il faut donc utiliser les masses molaires (masse d'une mole de molécules).

$$M(\text{CH}_4) = 16 \text{ g/mol} \qquad M(\text{CO}_2) = 44 \text{ g/mol}$$

Ainsi 1 g de méthane va produire : $1 \times M(\text{CO}_2) / M(\text{CH}_4) = 1 \times 44 / 16 = 2,75 \text{ g}$ de CO_2 pour 50 kJ d'énergie dégagée.

D'où 1 kJ d'énergie obtenue par cette combustion va produire $2,75 / 50 = 0,055 \text{ g}$ de CO_2 .

Exemple de la combustion du butane :

L'équation de combustion du butane (le gaz en bouteille) s'écrit :



Cette transformation libère **46 kJ** d'énergie thermique par gramme de butane et $M(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 58 \text{ g/mol}$.

Cette fois-ci le rapport n'est pas de 1 puisque 2 molécules C_4H_{10} vont produire 8 molécules CO_2 .

Le rapport est donc de **4** : on produit 4 fois plus de molécules CO_2 que l'on consomme de molécules C_4H_{10} .

Ainsi 1 g de butane va produire : $4 \times M(\text{CO}_2) / M(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 4 \times 44 / 58 = 3,03 \text{ g}$ de CO_2 pour 46 kJ d'énergie dégagée.

D'où 1 kJ d'énergie obtenue par cette combustion va produire $3,03 / 46 = 0,066 \text{ g}$ de CO_2 .

3.2. La qualité de l'air

La combustion vue précédemment est considérée comme complète, c'est-à-dire en présence de suffisamment de dioxygène. Cependant il arrive que la combustion soit incomplète et génère alors du monoxyde de carbone (CO), gaz incolore, inodore et toxique.

Par ailleurs d'autres substances sont également libérées et affectent la qualité de l'air et la santé comme :

- les oxydes d'azote NO_x dont le **protoxyde d'azote N_2O** qui est un puissant gaz à effet de serre ;
- l'**ozone O_3** qui a des effets marqués sur la santé de l'homme (problèmes respiratoires)
remarque : il faut savoir distinguer l'**ozone de la troposphère** que nous respirons et qui provoque des problèmes respiratoires de l'**ozone de la stratosphère** qui forme une couche protectrice contre les rayons ultra-violet du soleil ;
- les **suies** ou particules fines qui ont été classées cancérogènes ;
- les **produits soufrés** comme le dioxyde de soufre SO_2 qui irritent la peau et les voies respiratoires.

3.3. L'empreinte carbone

Le CO_2 étant le principal gaz émis par les activités humaines responsables de l'augmentation de l'effet de serre, il a été choisi comme référence comme outil de quantification de l'impact sur l'environnement : c'est l'empreinte carbone.

L'empreinte carbone d'une activité ou d'une personne est la masse de CO_2 produite directement ou indirectement par sa consommation d'énergie et/ou de matière première.

Pour un objet, il faut alors prendre en compte la totalité de son cycle de vie, depuis l'extraction des matériaux qui le composent jusqu'à son démantèlement (ou son recyclage) en ajoutant son utilisation et tous les transports nécessaires.

Ainsi, cet indicateur permet aux utilisateurs de prendre conscience de leur impact sur l'environnement.

4. Et pour le futur

4.1. Impact de l'augmentation du CO₂

L'augmentation du CO₂ et des autres gaz à effet de serre est une réalité et son impact se fait ressentir de plus en plus par :

- le réchauffement planétaire dont les conséquences peuvent être la désertification, la fonte des glaces, l'augmentation du niveau de la mer, l'augmentation de l'intensité des tempêtes ... ;
- l'acidification des océans qui est susceptible d'impacter toutes les espèces marines dont les organismes calcifiants (coraux, crustacés et mollusques) qui seraient les plus sensibles ;
- les changements de croissance et de nutrition des plantes : bien que l'augmentation du CO₂ a un impact fertilisant sur les plantes (photosynthèse), ces dernières devront s'adapter aux nouveaux climats (sécheresse par exemple) et au fait qu'il n'y a pas d'augmentation des autres éléments nécessaires à une bonne croissance (minéraux, azote, phosphore...).

4.2. Les scénarios

Les changements climatiques évoqués montrent qu'il est important de modifier les comportements à l'échelle de la société : c'est ce qu'on appelle la **transition écologique**.

Pour ce faire, le **GIEC** (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) est chargé de faire des scénarios d'évolution climatique en évaluant les changements prévisibles affectant les écosystèmes et les conditions de vie des êtres humains.

Une analyse des risques et des options peut alors orienter les prises de décisions et adapter les mesures à prendre pour faire face aux changements.

4.3. Dans le domaine énergétique

Dans le domaine énergétique, le choix des mesures d'adaptation et d'atténuation doit tenir compte de nombreux critères et paramètres : disponibilité des ressources et adéquation aux besoins, effets (climatique, écologique, sanitaire, agricole), vulnérabilités et gestion des risques, faisabilité, conséquences économiques et sociales.

Les durées longues, liées à l'inertie de certains systèmes (infrastructures énergétiques, transports, production industrielle), sont à confronter à l'urgence de l'action.

Exemple : Décidons par exemple de construire une nouvelle centrale nucléaire pour remplacer des centrales à charbon. Le temps de la construction de la centrale demandera au moins 5 années puis il faudra faire les essais de mise en service, de sécurité ... l'exploitation proprement dite démarrerait alors à la 6^{ième} ou 7^{ième} année et on pourra alors arrêter les centrales à charbon.

Autre exemple : le projet Iter (réacteur de fusion nucléaire) qui est en route depuis 1986, dont le premier essai de plasma devrait avoir lieu en décembre 2025 pour une exploitation en 2035 !

La transition écologique des sociétés repose sur la **créativité scientifique et technologique** (recherche de diversification ou d'évolution des ressources, mix énergétique, nouveaux matériaux plus écoresponsables avec de meilleurs rendements, etc.) et sur l'**évolution des comportements individuels et collectifs** (consommation en achetant des produits locaux, déplacements en utilisant les transports en commun et le covoiturage, etc.).

Exemple d'un choix énergétique pour la France : le nucléaire.

C'est dans les années 1970, après les chocs pétroliers, que la France décide du choix « tout nucléaire » afin d'augmenter son indépendance énergétique.

Le nucléaire représente aujourd'hui plus de 70% de la production électrique en France alors qu'il ne représente que 10% de la production mondiale.

Le nucléaire a ses avantages :

- + énergie très productive : 1g d'uranium libère autant d'énergie que 12t de pétrole ;
- + rejets de CO₂ faibles ;
- + économiquement rentable : emplois, chiffre d'affaires important, ressources peu chères pour l'instant ;

mais également des inconvénients :

- déchets radioactifs nocifs : 0,2% des déchets sont de haute activité et on ne sait pas encore les traiter alors on les enfouit dans la roche ;
- risque élevé : Tchernobyl – Fukushima ;
- coût de production qui va augmenter : uranium qui se raréfie (encore 100 ans ?), centrales vieillissantes (durée de vie de 40 ans).