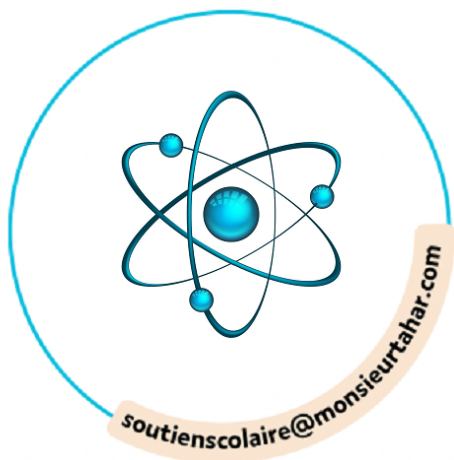


ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE



PHYSIQUE - CHIMIE

CHAPITRE 4

Les critères de choix d'un mix énergétique



La composition d'un mix énergétique traduit des arbitrages à différents niveaux (États, industriels, consommateurs) en fonction de nombreux critères et paramètres.

I La disponibilité des ressources énergétiques

1 L'exploitation des ressources naturelles locales

● L'**autonomie énergétique** est un enjeu majeur pour chaque territoire.

Les ressources disponibles localement sont donc exploitées en priorité.

● Lorsque le **contexte géographique et géopolitique** le permet, des ressources énergétiques sont importées, tantôt par nécessité, tantôt pour réduire les coûts. À l'inverse, l'excédent peut être exporté et devenir une source de revenus.

Mots clés

- Le **mix énergétique** désigne la répartition des différentes sources d'énergie consommées.
- Le **mix électrique** désigne la répartition des différentes sources d'électricité. Il est inclus dans le mix énergétique.

2 Le stockage des ressources intermittentes

● Certaines **énergies renouvelables** sont intermittentes. Elles ont une **production variable et non programmable**, car dépendante des conditions météorologiques et du cycle jour/nuit.

● Pour assurer l'équilibre entre **l'offre et la demande**, il faut stocker l'énergie et **piloter les réseaux** et les installations. Des solutions sont à l'étude comme le stockage de chaleur ou encore l'utilisation du dihydrogène fabriqué à partir de l'électrolyse de l'eau comme vecteur intermédiaire de stockage.

II Les coûts de production

Les coûts de production varient d'une technologie à une autre.

Pour l'électricité, un **indicateur appelé LCOE** (Levelized Cost of Energy) permet de les comparer. Il prend en compte les coûts : d'acquisition, de construction, de rénovation du système ; d'opérations et de maintenance (main-d'œuvre et matériel) ; d'achats de carburant (inexistants dans le cas d'une énergie renouvelable).



III L'anticipation des impacts et la gestion des risques

1 Les impacts écologiques

En plus de **contribuer au dérèglement climatique**, la production et la consommation d'énergie peuvent **nuire** directement **aux écosystèmes**.

Les barrages hydroélectriques provoquent la fragmentation de l'habitat des espèces aquatiques.

L'extraction du gaz de schiste ou celle du charbon polluent les nappes phréatiques.

Produire des biocarburants (ou agrocaburants) a non seulement un impact sur les sols, les nappes phréatiques et la biodiversité, mais aussi sur les émissions de CO₂.

DOC. Une excavatrice dans la mine de Garzweiler, en Allemagne (2019)



2 Les impacts sanitaires

En polluant l'air ou l'eau, la production et la consommation d'énergie peuvent provoquer de nombreuses **maladies**.

La production d'énergie peut aussi être à l'origine de **catastrophes industrielles**, comme en 2014 lors d'une explosion suivie d'un incendie dans la mine de charbon de Soma, en Turquie, qui a fait 300 victimes.



Quand l'Islande se chauffe grâce aux volcans

L'Islande, une des zones tectoniques les plus actives du globe, compte plus de 200 volcans. Ce contexte géologique particulier permet d'utiliser de l'eau qui a circulé en profondeur, et s'est réchauffée au contact des roches, pour chauffer les habitations et pour produire de l'électricité.



Les eaux de la station thermale du Lagon bleu proviennent de la centrale géothermique de Svartsengi, en Islande

La transition énergétique face à l'urgence climatique



Dans le contexte du dérèglement climatique, il est urgent de basculer au niveau mondial vers des énergies décarbonées, ce qui nécessite d'innover.

I Favoriser la transition énergétique

- Un état peut décider de développer des **infrastructures** (voies de transport en commun, par exemple), de mettre en place différents types de **mesures** (**réglementaires**, **financières** ou **fiscales**) pour promouvoir des sources d'énergie émettant moins de GES.
- Il est également possible de **réguler** au niveau national les industries polluantes, par exemple en fermant des centrales à charbon.
- Les émissions de CO₂ par habitant varient d'un pays à l'autre. La plupart des pays à hauts revenus polluent plus que la plupart des pays à bas revenus. Les **COP** sont l'occasion de **négociations** sur le **soutien au développement** et la **réduction des émissions** de GES ▶ **FICHE 17**, de **transferts de technologies** et d'**aides à la transition énergétique**.

II Innover au service du développement durable

1 Améliorer le stockage de l'électricité

- En dix ans, le prix des **batteries lithium-ion** ▶ **FICHE 25** a été divisé par neuf, grâce à de nombreuses innovations qui ont amélioré leurs performances et leur durée de vie, réduit leur temps de charge.
- Ces innovations rendent de plus en plus compétitif le **couplage entre une source d'énergie intermittente et une batterie**. De plus, elles facilitent l'**électrification** d'autres domaines, comme les transports.

2 Valoriser les alternatives au charbon

Le charbon apparaît aujourd'hui comme l'ennemi numéro un dans la lutte contre le réchauffement climatique. Les énergies nucléaire et renouvelables sont **décarbonées**, et le gaz naturel émet quant à lui significativement moins de GES que le charbon.

3 Capturer le carbone

À plus long terme, les recherches s'orientent vers la capture du CO₂, puis vers sa séquestration dans le sous-sol terrestre.

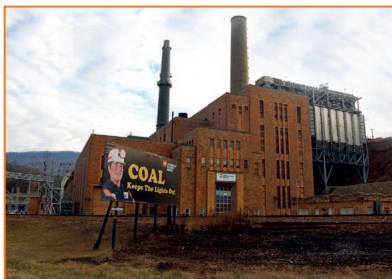
III L'inertie des systèmes, l'urgence de l'action

■ La transition d'une énergie vers une autre implique une **transformation du secteur d'activité** associé, et donc la suppression de certains métiers pour lesquels une **reconversion** n'est pas toujours envisageable.

■ Fermer toutes les centrales à charbon sans en ouvrir de nouvelles irait dans le sens de l'accord de Paris sur le climat. Toutefois, leur durée d'amortissement de plusieurs décennies peut retarder le déploiement de technologies plus respectueuses du climat, de l'environnement et de la santé humaine.

■ En parallèle de la production, les consommateurs d'énergie sont également soumis à une certaine inertie. Par exemple, une entreprise de transport amortit ses camions sur de nombreuses années, ce qui ralentit l'électrification du secteur. De la même manière, les pompes à chaleur représentent une alternative moins carbonée aux chaudières pour le chauffage, mais représentent un investissement lourd.

DOC. La centrale à charbon de Glen Lyn (États-Unis), fermée en 2015 après avoir fonctionné 71 ans



Une expérience de capture du CO₂ dans l'atmosphère

Climeworks capture du CO₂ dans l'air en le fixant à un filtre et le revend à des entreprises agroalimentaires (pour fabriquer des sodas) ou à des serres (le CO₂ permet la photosynthèse).

Cette technologie gourmande en énergie n'est actuellement pas rentable mais pourrait utiliser l'excédent d'électricité produit par des panneaux solaires et des éoliennes.



Séquestration du CO₂ de l'atmosphère par Climeworks, à Zurich, en Suisse

Le nucléaire, un exemple de choix énergétique



Le nucléaire est une source d'énergie décarbonée mais dont les installations sont coûteuses à sécuriser.

I Les caractéristiques du nucléaire en France

1 Des coûts de construction en hausse

● La **compétitivité** du nucléaire français s'appuie sur l'existence de **réacteurs déjà construits**. Aucun nouveau réacteur n'a été mis en service depuis 2002. Le délai maximal de démarrage de l'EPR de Flamanville (réacteur de troisième génération), dont le chantier a commencé en 2007, a été repoussé à 2024.

● La fission nucléaire consomme de l'**uranium**, extrait au **Canada**, au **Kazakhstan** et au **Niger**. C'est un **combustible peu coûteux**, car une petite quantité suffit : la fission de l'uranium libère environ 2 millions de fois plus d'énergie que la combustion du charbon pour la même masse nette de combustible.

2 Une production stable d'électricité

● Les centrales nucléaires ne sont pas intermittentes. En revanche, moduler la puissance d'un réacteur est délicat et coûteux. Un réacteur est destiné à fonctionner **en continu** et à **charge constante**, sauf lors de sa maintenance.

● Les installations nucléaires en service permettent à la France de produire de manière constante une grande quantité d'électricité à faible coût, ce qui fait de notre pays le **premier exportateur d'électricité de l'Union européenne**.

3 Un faible impact climatique et sanitaire

● Le nucléaire est une énergie **non renouvelable** mais **peu carbonée** : son impact sur le climat est négligeable. En l'absence d'accident industriel, elle ne provoque pas de maladies respiratoires chez les populations, et les accidents sont rares.

● Toutefois, la fission nucléaire produit des **déchets radioactifs** issus du **retraitement des combustibles usés**. Certains de ces déchets sont très dangereux pour le vivant et doivent être confinés jusqu'à des centaines de milliers d'années pour ceux dont la période radioactive est longue.

II Les perspectives d'évolution du nucléaire français

1 Les petits réacteurs modulaires (*Small modular reactors*)

- Les centrales nucléaires sont de gros projets qui nécessitent des **investissements lourds** avec un cycle de production sur le **temps long**. La durée de vie d'une centrale peut dépasser 40 ans.
- La fabrication en série de **mini-réacteurs** nucléaires, au **cycle de production court**, impliquant une **prise de risque plus faible** en cas de problème, permettrait de tester de nombreuses **innovations**. Des start-ups de la Silicon Valley et des acteurs majeurs de l'énergie (en France, EDF et le CEA) travaillent sur le sujet.

2 La fusion nucléaire

- Alors que la **fission nucléaire**, processus actuellement industrialisé, consiste à **casser des noyaux atomiques** pour produire de l'énergie, la **fusion nucléaire** est le processus inverse par lequel des noyaux atomiques fusionnent en un noyau plus lourd. La fusion est **plus sûre** que la fission (**pas d'emballement** de la réaction) et elle ne génère **pas de déchets radioactifs de haute activité à vie longue**.
- Quand on parviendra à la contrôler, la fusion nucléaire pourra libérer une **énergie quatre fois supérieure à celle de la fission** nucléaire. C'est l'objectif du projet Iter, fruit de la collaboration de 35 pays. Même si toutes les étapes du projet se déroulent avec succès, la première centrale à fusion ne pourra pas être construite avant 2050.



ZOOM

L'arche de confinement de la centrale de Tchernobyl

Le réacteur numéro 4 de la centrale de Tchernobyl a explosé en avril 1986.

En 2018 a été achevée une structure mesurant 108 mètres de haut pour un poids total de 36 000 tonnes, destinée à remplacer l'ancienne et à assurer la sécurité du site pour les 100 ans à venir.

Cette arche de confinement a été conçue par un groupe d'entreprises majoritairement françaises.

