

SHS Innovation et energie

Arthur Herbette

Mardi 16 septembre 2025

1 Sources fossiles

September 16, 2025 — Lecture 2 : Energie fossile

La géologie des sources fossiles

L'extraction du pétrole/gaz peut se faire de plusieurs façons, on peut aller de $EROI \approx 7 \rightarrow 35$

EROI

Imaginons que nous prenons 100MJ de pétrole, l'extraction nous coûte 10Mj, raffiner 27MJ, le transport nous coûte 5MJ, le dernier coût qui est le coût énergétique des infrastructures nous revient à 37.5MJ. On finit donc

$$100 \rightarrow 90 \rightarrow 63 \rightarrow 58 \rightarrow 20.5$$

Pétrole restant à la consommation = $20.5 MJ$ oil

Même dans ce calcul il manque encore pas mal de donnée, notamment l'installation etc...

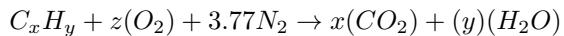
Comme par exemple vouloir mettre des panneaux solaires dans l'espace, cela paraît être une bonne idée au vu de l'ensoleillement mais l'installation...

Courbe de Hubbert

Avec la technique d'exploitation qui s'améliore, la recherche augmente, néanmoins la ressource n'est pas infini fait baisser la production.

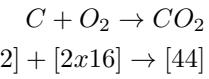
Effet sur le climat et l'environnement

Réaction de combustion d'un hydrocarbure générique à l'air libre en présence d'azote N_2



Exemple

Combien de CO_2 est relâché par la combustion du charbon?



chaque kilo de charbon libère $44/12 = 3.67$ kg de CO_2

- Si l'on considère du charbon bitumineux avec une teneur en volatile (eau), il reste 900kg de combustible par tonne de charbon
- Si 88% du combustible sec est carbonisé, soit du charbon pur, il reste $900 \times 0.88 = 792$ kg de charbon, ce qui nous donne $3.67 \times 792 = 2910\text{kg} = 2.81$ tonne de CO_2 par tonne de charbon
- valeur énergétique 35GJ/tonne + un rendement 30 %, on produit environ $35 * 0.3 = 10.5\text{GJ}$ électrique 2.92 MWh par tonne de charbon.

est ce qu'il y aurait un lien directe entre les grand pétroliers et les grandes canicules (heat-waves)

Ce qu'on voit après une analyse des graphes (raccourcis btw) Oui par exemple Saudi Aramco est responsable à 19% de l'augmentation de 0.05-0.10 degrés.

Est ce que les pétroliers savaient pour le changement climatique

Oui, des chercheurs directement travaillant sur les pétroliers savait que l'utilisation des énergies fossiles augmente la température globale.

Compensation des émissions

Une entreprise venant d'un pays industrialisé (imaginons l'Italie) peut acheter des "droits de pollutions" à la place du pays peu développé. On a donc un commerce des émissions de carbone.

Solution pour aider la transition:

- Commencer par les **grand bâtiments** publics car l'investissement est plus rentable (volume > pour s >)
- Comment faire ou inciter: mettre des taxes carbonées
- Faciliter les emprunts

Economies de CO_2 : le polyuréthane est un matériel isolant produit par la pétrochimie - pas de pétrole → pas de polyuréthane!!

Quel est le coût CO_2 de la production du polyuréthane?

Cela dépend de la source qu'on considère.

Peut-être une solution serait d'utiliser un matériel isolant plus vert du genre: Liège, paille, laine? Ils sont aussi beaucoup plus chers, mais leur impact CO_2 de production est beaucoup plus petit...

Par exemple le projet REBUILT project ENAC/EPFL fait à l'EPFL

Maintenant est-ce que la production de ces matériaux est suffisante et faisable?

et si on ajoutait une pompe à chaleur

Si on reprend une pièce que l'on veut maintenant à 20°C, alors l'amortissement du prix d'installation se fait en environ 830 jours.

- Installation 10'000CHF
- Radiateur électrique 15.5
- Pompe à chaleur 4

Economies d'énergie: transport

La question maintenant est, est-ce qu'on peut faire des économies d'énergie sur le transport.

- Projet de rénovation SwissLoop de EPFL/EPFZ

On a une voiture à environ 580 Wh/passenger * km, tandis que le TGV et autre train se trouvent vers les 200

Quelle surface dois-je couvrir en champs de maïs pour la production de bioéthanol pour alimenter tous le transport routier en Suisse pendant 1 an? Il faudrait environ 0.6% de la surface totale de la Suisse.

- L'intégralité du réseau autoroutier Suisse a une longueur L1 = 1'700 km
- $L2 = S_{mais} / L1 = 150 \text{m}$

Faisons un cas d'étude entre deux VWs:

- Coût énergétique de la voiture

- Extraction et préparation de la matière première, similaire pour les 2x VWs
- Manufacture, similaire pour les 2x
- Production de la batterie
- Utilisation, consommation
- Recyclage
- Calcul du CO_2 total en fonction du mix énergétique
- Discussion des hypothèses 'techniques' (énergie et CO_2)
- Résultats: extra slides et fichier Excel éditable sur Moodle

Résumé - les sources fossiles

Le seul scénario qui permet la baisse de l'énergie fossile est de ne **PLUS** ouvrir aucun gisement. Ce dernier scénario n'est pas vraiment acceptable par l'économie actuelle, la baisse de production de ses sources fossiles rendrait la population la première victime de cet arrêt de production.

1.1 Conclusion

La transition énergétique/écologique est essentielle, dans un format scientifiquement et techniquement réaliste et réalisable dans les prochaines trentes années.

Le problème principale à résoudre et remplacer environ 80% de l'énergie fossile actuellement utiliser

2 Transition énergétique

Vision d'ensemble des flux d'énergie

Potentiel On voit bien que l'énergie potentiel du solaire arrive à 4 ordre de grandeur de différence avec les autres énergie renouvelable, le nucléaire arrive lui à 2/3 ordre de grandeurs ce qui est largement suffisant pour l'humanité actuelle.

Concept de densité de puissance Cherchons par exemple combien de w par m^2 à t'on besoin pour produire du bioéthanol, On obtient donc:

Soyons optimiste: aucune perte d'efficacité + tout le maïs produit en CH est utilisé

$$35 \cdot 1'200 \cdot 31'536 \cdot 10'000 = 0.13 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

- vent 10/100 w/ m^2
- hydro rip

Estimer la densité de puissance produite par des éoliennes

On a que l'énergie est donnée environ par:

$$E = f \cdot \frac{1}{2} \rho S v^2 L$$

Ou alors, la puissance est donnée par:

$$P = \frac{E}{t} = f \cdot \frac{1}{2} \rho S v^3$$

Néanmoins ici on en prends pas en compte le mechanical load qui nous fait perdre encore de l'énergie

Roles de la turbulence Un effet très important de la turbulence qui affect le régime en flux laminaire de l'air
Une conséquence principale de tourbillons produits par les

pales de l'éolienne: il faut séparer les éoliennes de $5d$ où d est la longueur d'une pale

Energie solaire

Sur un an le rayonnement solaire sur la Suisse est 220 fois plus élevé que la consommation d'énergie

*énergie
quintique- photo-
tovoltaïque*

- effet photo-électrique: un photon tape sur la matière et produit un électron libre, capable de migrer
- effet photo-voltaique: un photon qui tape dans un semi conducteur (silicium) produit une paire electron-trou, qui dans un potentiel électrique génère un courant → énergie
- Rendement total de ce cycle: $\frac{\text{énergie électrique}}{\text{énergie lumineuse}} = 10\%$

Densité de puissance solaire: l'ensoleillement moyen sur l'année

$$P_{grid} = P_{earth} \cdot \nu_{PV} \cdot FR$$

le FR est le facteur de recouvrement améliorables avec miroirs - solaire à concentration

Intégration technologique: panneaux solaires flottants sur barrage hydroélectrique

- $400W / m^2$ en Suisse 220 fois plus que la consommation annuelle totale d'énergie d'un panneau solaire thermique

$$\nu_{PV} = \nu_0 - \alpha \Delta T_{ext} \frac{T_{EXT}^2}{G}$$

Problème

Par rapport au cellules PV standard en silicium les cellules en pérovskite souffrent de problèmes de vieillissement et de stabilité structurale (résistance à l'humidité, par exemple) à l'échelle industrielle du module
Etude de l'EPFL à 2017: durée de vie 12'000 heure.

2.1 Fin de l'impact de l'énergie sur la société

Effet Rebond

Definition 1 En trouvant une solution au problème la solution finalement empire ce problème

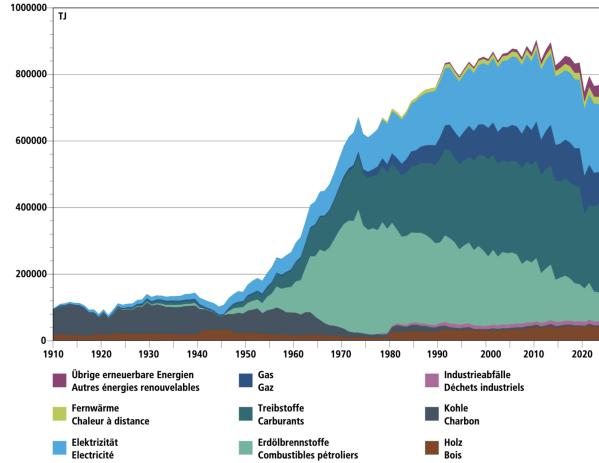
Exemple

Par exemple, vouloir manger moins de calorie en mangant de la glace basse en calorie mais du coup en manger plus car moins calorique → plus de calorie au final.

Evolution de la consommation finale d'énergie

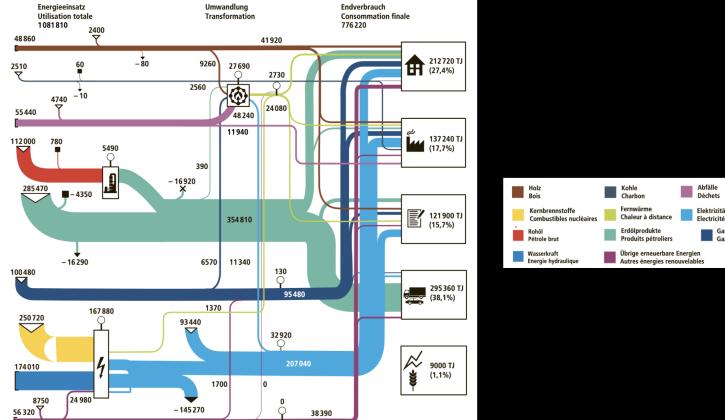
Fig. 1 Endenergieverbrauch 1910–2024 nach Energieträgern

Consummation finale 1910–2024 selon les agents énergétiques

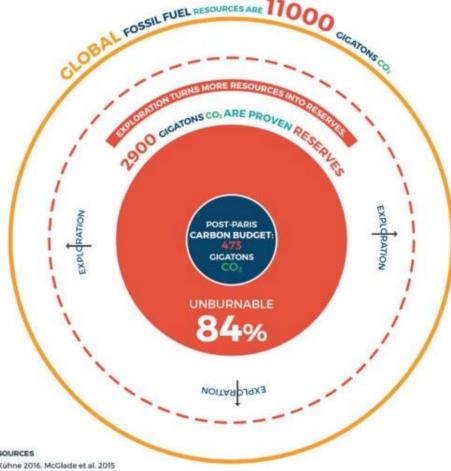


On voit ici que cet emmissions est seulement au niveau locale (production sur le terrain Suisse) néanmoins beaucoup de la production est délocalisé de nos jours ce qui expliquer pourquoi la production peut baisser.

Energie primaire, secondaire, finale, utile



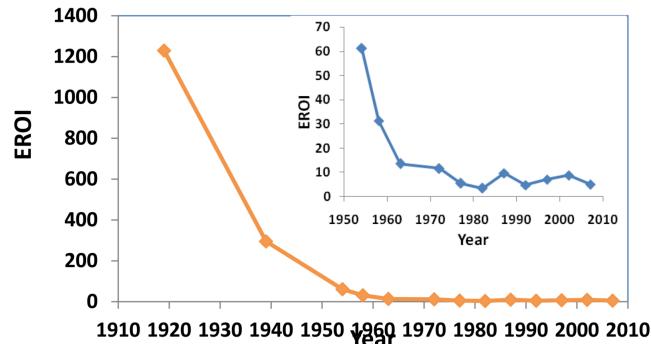
Pourquoi continue t-on à chercher?



Donc ici par rapport aux accord de paris (au maximum 2 degrés de réchauffement). Si on brûle toute la réserve de pétrole qu'on a, il y en a 84% qui sont en surplus

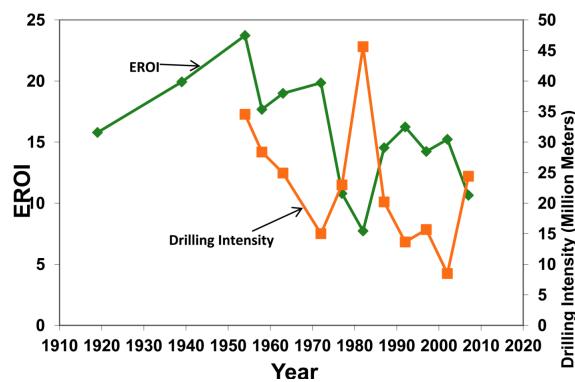
Ici ce qui est important c'est pas vraiment le stock mais plus le **flux**

EROI des découvertes (aux USA)



On voit ici, lors de la découverte d'un champs c'est souvent les endroits les plus intéressants et les plus facile pour extraire, dès lors on voit que le ROI descend car la facilité d'extraction diminue

EROI de la production



Lorsqu'on pompe beaucoup, on va dans des champs qui sont moins bons ce qui donc fait descendre le flux

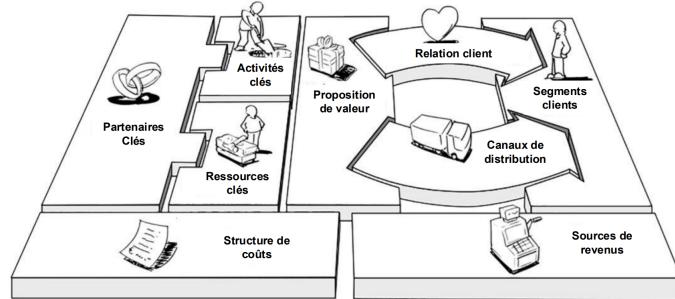
2.2 Innovation durable

**Différence entre
Créativité Inno-
vation Progrès**

<i>Créativité</i>	Jouer avec ses idées
<i>Innovation</i>	Générer du profit grâce à sa créativité → impact économique
<i>Progrès</i>	Avoir un impact positif sur la société → impact sociétal
<i>Aparté sur l'innovation</i>	<p>Opower (jsp c'est quoi) on voulut faire baisser la consommation d'un habitat. Il voulait le faire en changeant la mentalité des gens et non la technologie. Par exemple un dashboard de l'argent économisé, ou alors nous faire être sauveur de la planète.</p> <p>Le plus rentable: avoir une compétition entre les voisins, avoir un classement entre les voisins</p>

Par exemple avoir un quartier sans panneau photovoltaïque, dès qu'une personne en mets → effet boule de neige vers le quartier.

Buisness model canva



- Est ce que c'est faisable?
- Est ce qu'il est viable, revenu > coût?
- Est ce qu'il est désirable? Est ce que des gens veulent acheter votre produit

Maslow



Ici on parle des besoins les plus primitifs dans une société jusqu'à ce qui est le moins "nécessaire"

On a plus vraiment de besoin mais plus de désir.



Par exemple la cigarette chez les femmes au états unis. Les femmes de l'époques de fumait pas, c'était mal vu. Edward Bernays a alors amené la cigarette comme un produit faisant. La cigarette est aussi devenu un signe de féminisme chez les femmes américaines de l'époque. Grâce à ces deux images la cigarette est devenue populaire aussi chez les femmes.
On voit encore une fois qu'on est passé d'une économie de besoin à une économie de désir.

2.3 Robustesse et flexibilité

Prix des technologies

Imaginons que nous ayons les quatre installations éolienne, gaz, nucléaire, hydraulique, quelles sont les problèmes respectifs de chacunes des installations:

- Eolienne: pas flexible (depend du temps)
- Gaz: flexible
- Nucléaire: flexible, coût si l'on doit arrêter
- Hydraulique: très flexible

Maintenant quelle est le coût:

$$\text{Coût investissement} \approx \frac{\text{investissement initial}}{\text{Energie théorique sur l'ensemble du cycle de vie}}$$

$$\text{Coût carburant ou carbone} \approx \frac{\text{cout carburant ou carbone}}{\text{energe generé}}$$

$$\text{Cout o M} \approx \frac{\text{count annuel des salaires}}{\text{Energie théorique générée durant l'année}}$$

installations

<i>Gaz</i>	Max $1MWh$ chaque période
<i>Nucléaire</i>	Coût d'arrêt de la centrale <ul style="list-style-type: none"> • 100CHF • Max $1MWh$ chaque période
<i>Hydro: Accumulation</i>	La production est flexible $1MWh$ stocké (peut produire sur une période seul)
<i>Eolien</i>	Production intermittente: $17 - 18MWh$ $18 - 19 : 0MWh$ $19 - 20 : MWh$

**Coût par installa-
tion**

	Eolien	Nucléaire	hydraulique	Gaz
Investissement	38	11	35	9
Démantèlement	0	0	0	0
Carburant	0	9	0	46
Carbon	0	0	0	10
O & M	18	13	5	6