

Energie :

Retour sur des notions de base

- Formation EELV-COMENER 2021 N°3
- Cycle 2021 / Antoine Bonduelle



E&E Consultant



Introduction : idéologie ?

- L'idéologie, en suivant Alain Touraine, c'est une « **représentation du monde** ». Ce n'est donc pas forcément péjoratif quand on fait de la politique. Il s'agit d'outils et de concepts pour **décrire et interpréter le monde, nos actions et nos projets.**
- Mais cela pose le problème de l'**objectivité**, soit sur la construction des concepts ou des quantifications, soit sur leur interprétation.

Dans le présent cours nous sautons à pieds joints dans ces pièges...



A quoi ça sert ?

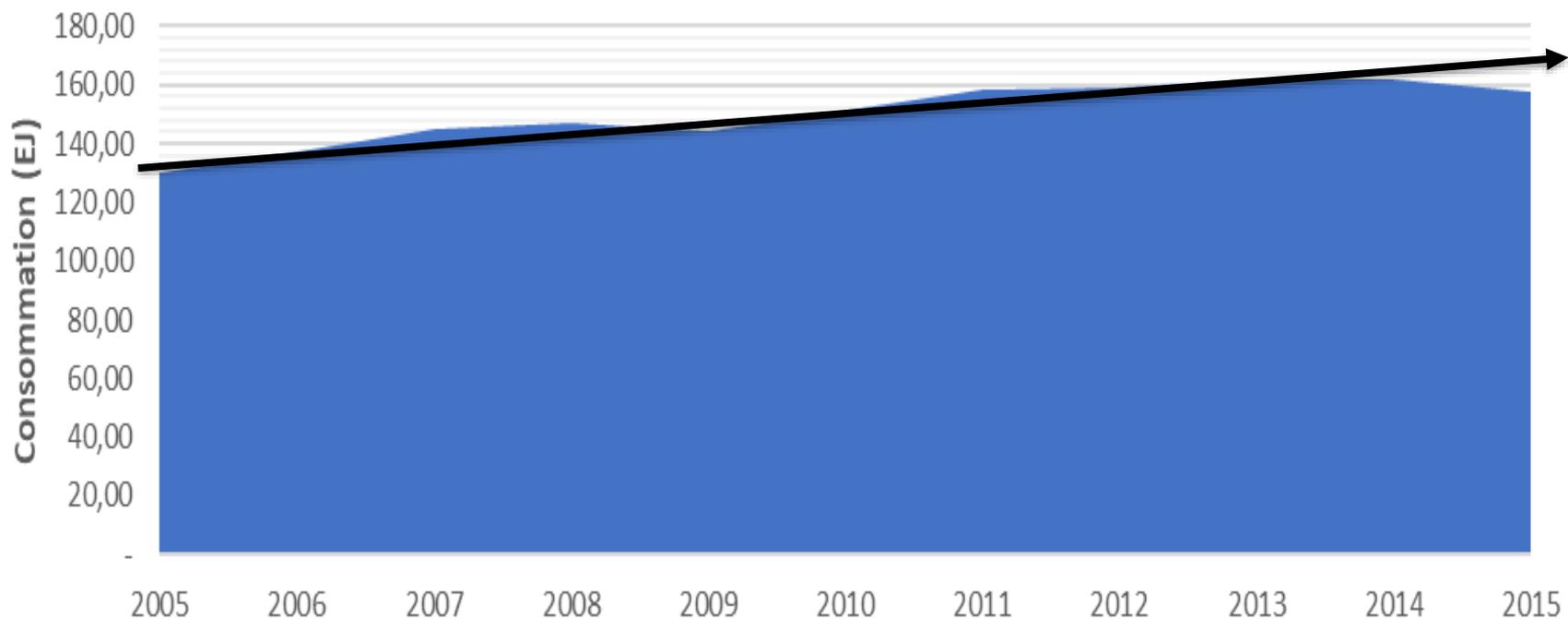
- La **narration** est centrale dans le **travail politique**, puisque nous voulons convaincre que notre chemin est possible, le meilleur, etc.
- Mais on risque parfois de « se raconter des histoires », en **simplifiant trop** les contenus et **en niant la complexité**. Comme dans le développement des modèles, on perd alors l'objectif de créer un **cadre de dialogue informé**
- Exemple ci-après de l'évolution mondiale de la consommation de charbon



« Le charbon continue d'augmenter... »

« Il n'y a pas de substitution... quoi qu'on fasse » « King Coal... ».
« les alternatives n'impactent pas... »

Evolution de la consommation de charbon mondial



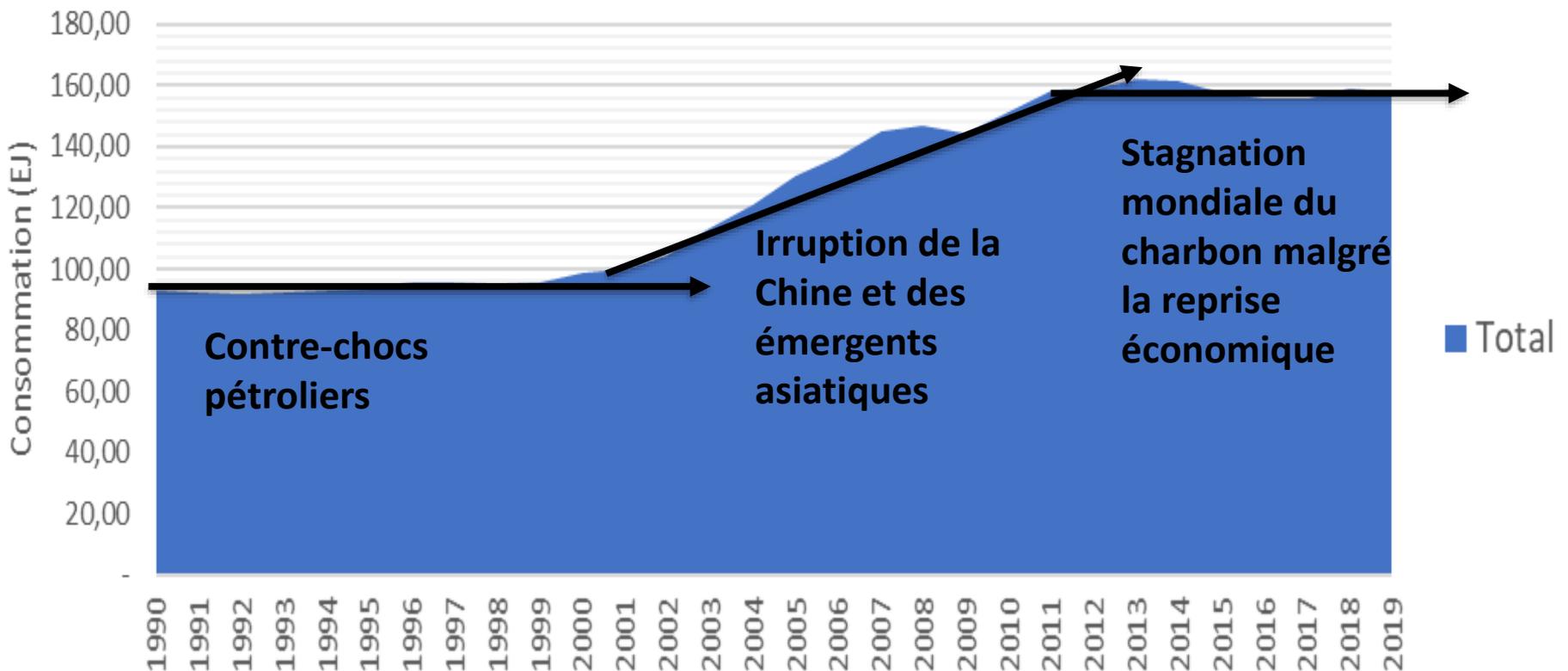
COMENER 2021



Et si... on élargissait la focale ?

- Sur la période 1990-2020, trois autres histoires

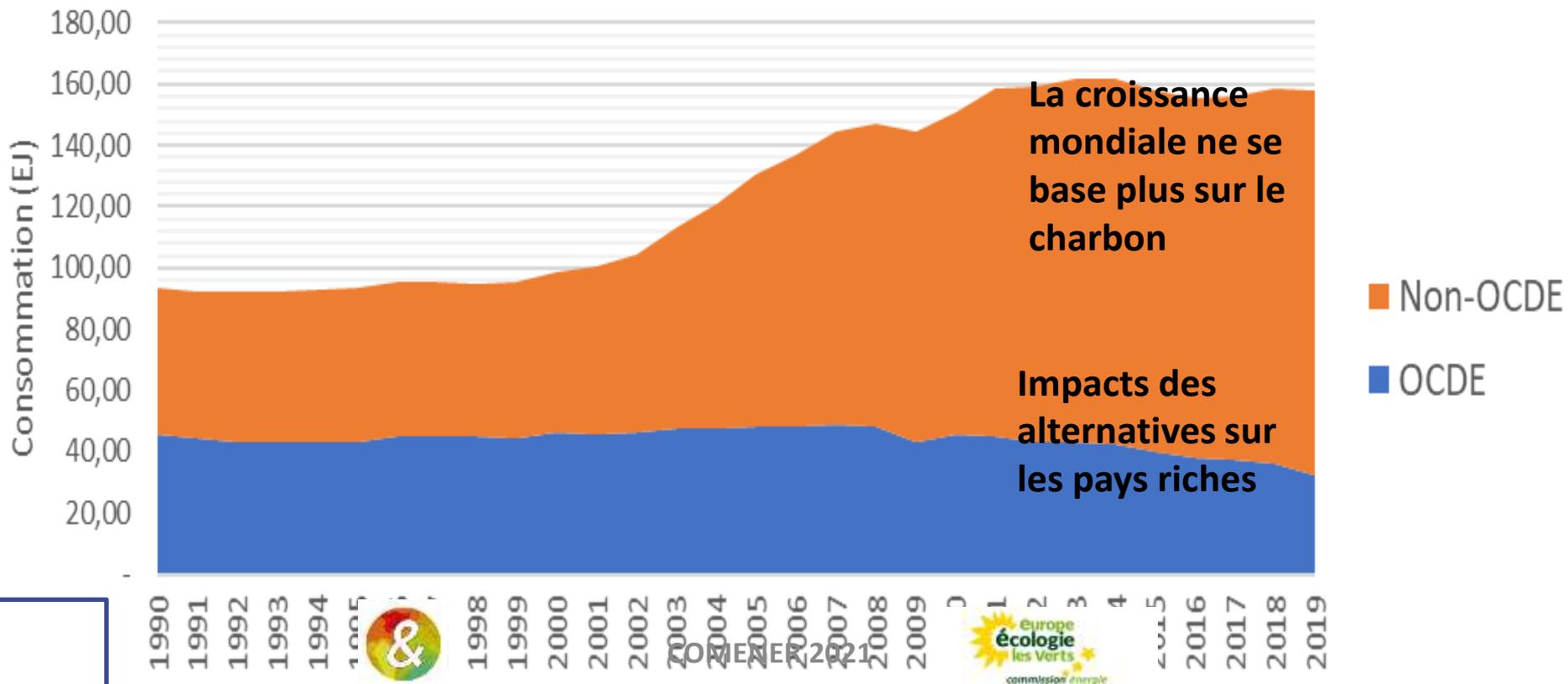
Evolution de la consommation de charbon mondial



Le grand Nord, le grand Sud

Même réalité vue des pays développés et des autres

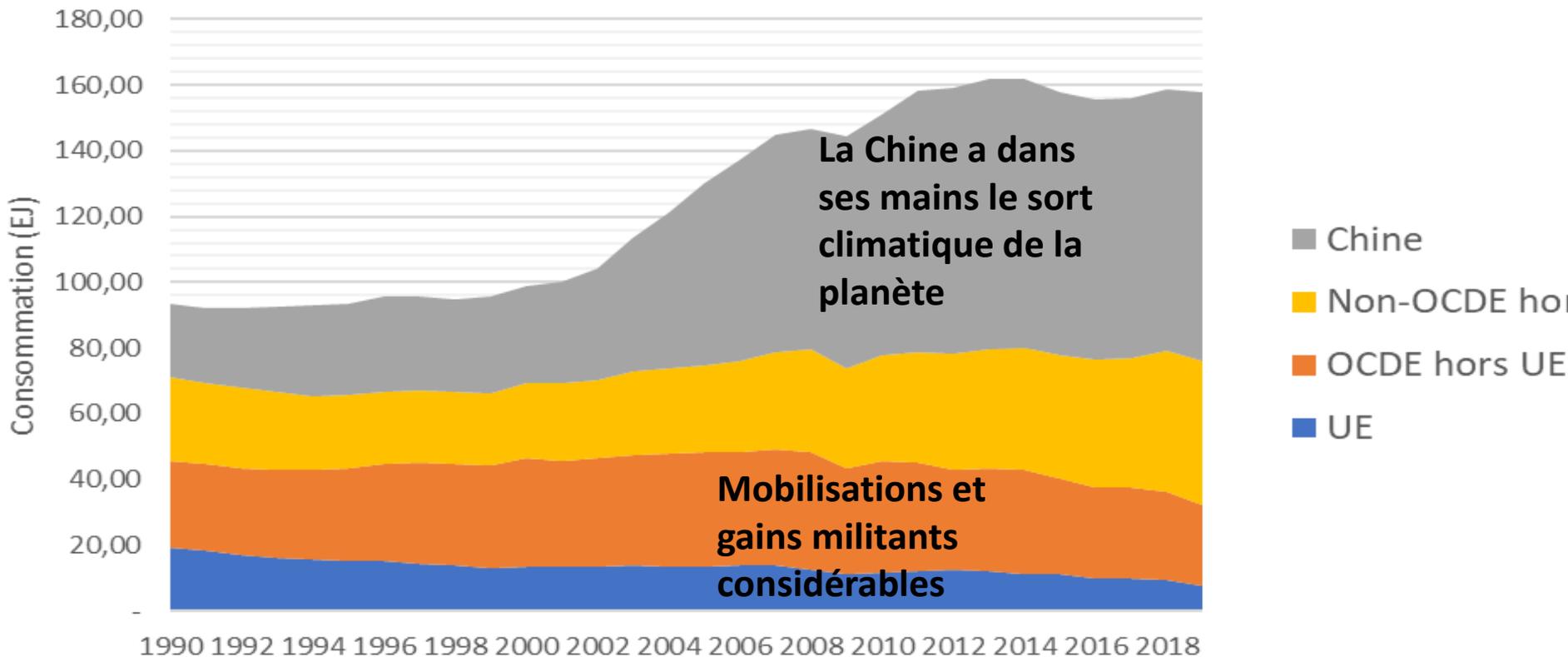
Evolution de la consommation du charbon 1990-2020



Et l'UE ? Et la Chine ?

■ La même histoire, racontée différemment

Evolution de la consommation du charbon 1990-2020



Noir c'est noir, il n'y a plus d'espoir...

- Nous avons vu un exemple de subjectivité du récit, pourtant très informé et chiffré.
- Il reste beaucoup de travail, mais une observation plus détaillée montre le travail restant (diplomatie, techniques, politiques publiques...),
- Certaines évolutions sont le résultat des luttes (ports charbon aux US-Canada, centrales Australie...)
- Une désagrégation nous informe mieux sur les tâches à accomplir, les gains les pertes...

Sur l'exemple du charbon et les conventions utilisées par BP et d'autres, voir aussi

<https://decrypterlenergie.org/les-energies-renouvelables-font-elles-reculer-les-energies-fossiles>



- **Introduction sur le charbon**
- **Unités et bilans énergétiques, les vecteurs d'énergie**
- **Les équations de Kaya**
- **L'énergie grise et les indicateurs de durabilité**
- **Deux notions issues de l'économie**

Les unités de l'énergie

- De l'énergie (du « travail ») c'est de la puissance, multipliée par du temps
- Le Joule et le Watt ($1 \text{ J} = 1 \text{ W/s}$) dans le système international SI.
- Pour l'essentiel on parlera en multiples du Joule, du kW et du temps, et bien sûr en Euro ou en dollars.
- Les multiples par mille: kilo, Méga, Giga, Exa...

Des équivalences d'ingénieur : 1 litre d'essence fait à peu près 10 kWh, 1 kg d'hydrogène fait à peu près 33 kWh, le même poids de gaz naturel fait la moitié...

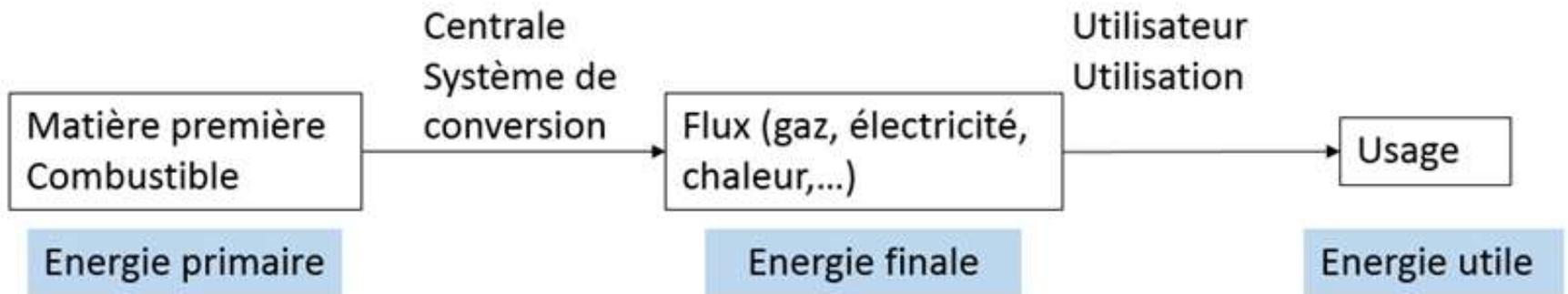


Energies primaire / finale / utile

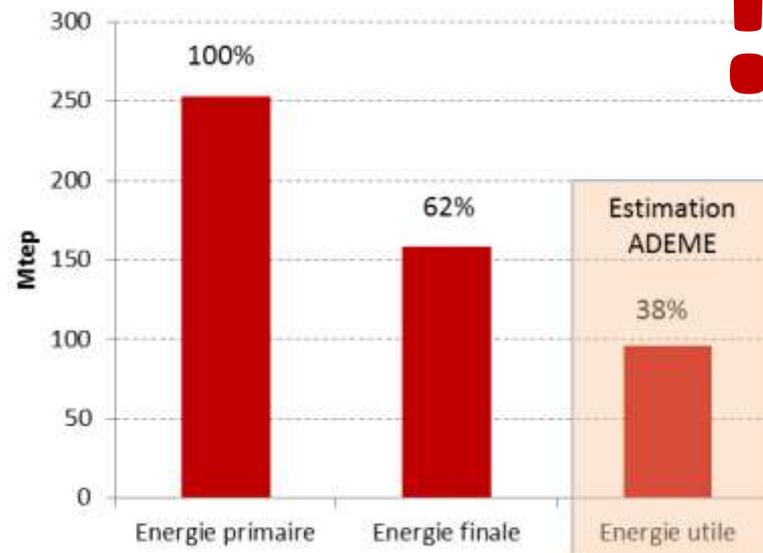
- **Energie primaire** : énergie que l'on prélève dans la nature (par ex. flux solaire ou gisement de charbon)
- **Energie finale** : Energie mise à disposition du consommateur sous une forme directement utilisable (par ex. essence à la pompe)
- **Energie utile** : part de l'énergie finale qui sert effectivement à l'usage (par ex. énergie transmise dans le pneu de l'auto ou à l'arbre de transmission).



Trois stades de l'énergie



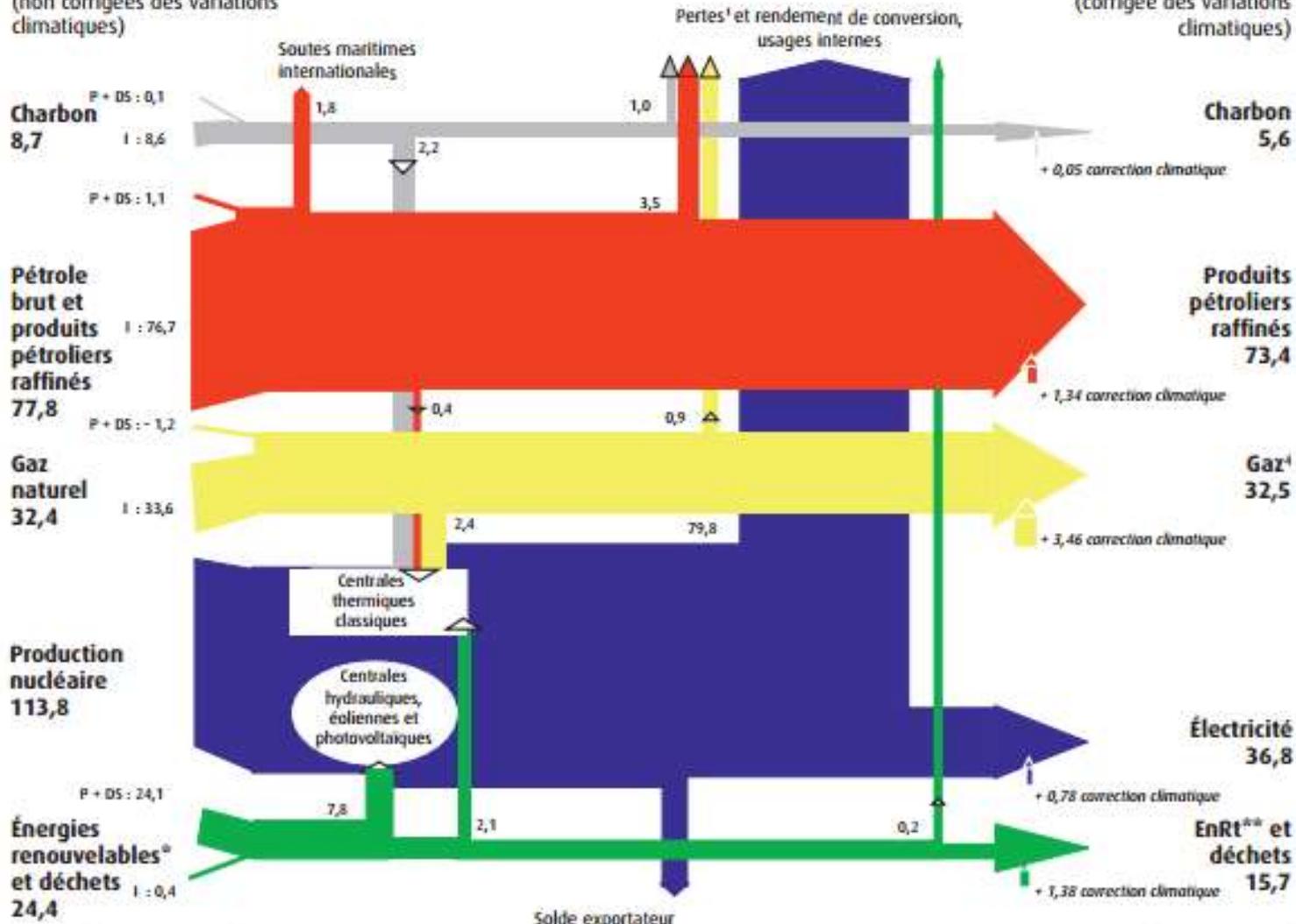
En réalité, l'énergie utile est moins précise dans son calcul, même si elle est essentielle pour évaluer efficacité et sobriété.



Exemple de diagramme « Sankay » : Bilan énergétique France 2014

Ressources primaires
(non corrigées des variations climatiques)

Consommation finale³
(corrigée des variations climatiques)



Total² : 257,1 Mtep



COMENER 2021



Total : 164,0 Mtep

urce : SOeS, bilan de l'énergie 2014

Les types d'énergie primaire

▪Energies de flux :

- Diffuses, variables et parfois sauvages
- Efficaces à l'état naturel (sans apport technologique)
- Très abondantes mais peu denses
- Indéfiniment renouvelables

Rayonnement
solaire, vent,
vagues...

▪Energies semi-denses :

- Partiellement ou lentement renouvelables
- Plus régulières que les énergies de flux

Biomasse,
géothermie, rivières,
tourbes, marées...

▪Energies denses :

- Non renouvelables (énergie solaire fossilisée)
- Pollution importante
- Existent sous forme concentrée, mais demandent souvent un processus complexe (raffinage pétrolier, enrichissement uranium)

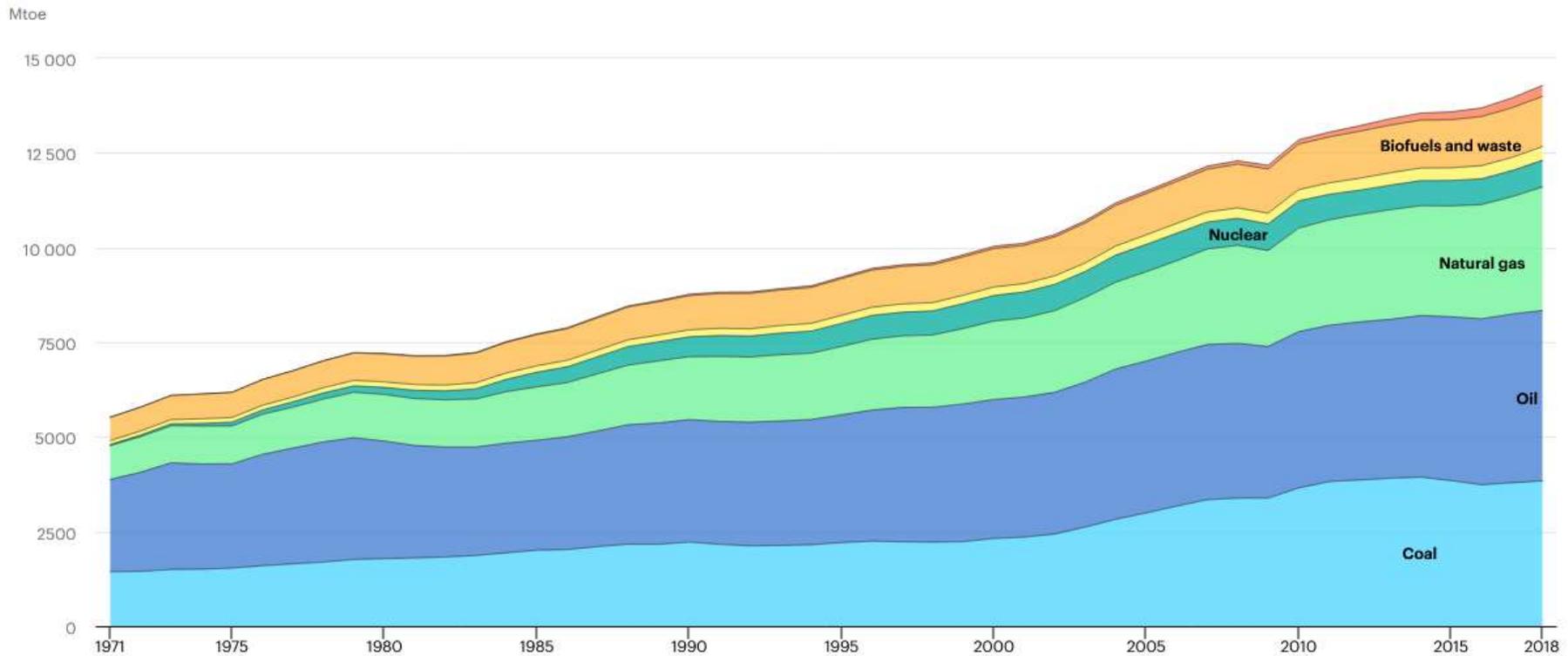
Charbon, pétrole, gaz,
nucléaire...



Les pièges de la tep



Primaire global, Mtep



Sur ce graphe d'approvisionnement primaire (AIE 2019), le nucléaire est trois fois plus gros que l'hydro.

Rig

Coal Oil Natural gas Nuclear Hydro Biofuels and waste Other



Comment représenter l'électricité?

Production mondiale d'électricité (AIE 2020):

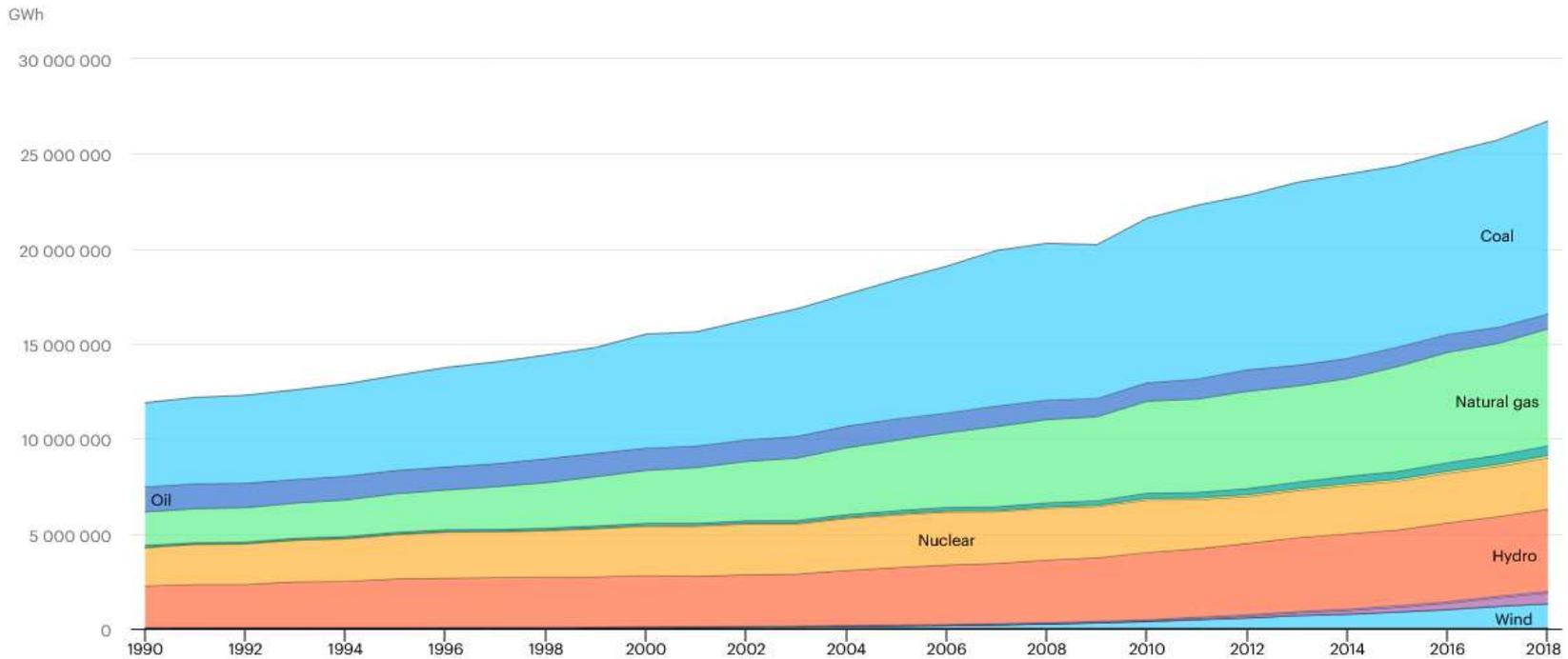
- Nucléaire 2710 TWh (en vert)
- Hydraulique 4325 TWh (en jaune)
- Eolien + PV 1987 TWh (en rouge)

Visiblement le graphe précédent (tiré de la même publication) n'est pas très fidèle...



Mesurer la ressource d'électricité demande une convention (AIE, BP, ONU, etc.)

Electricity generation by source, World 1990-2018



Sur ce graphe d'approvisionnement en électricité (AIE 2019), l'hydraulique est mieux représentée, de même l'importance du charbon est nettement moindre.

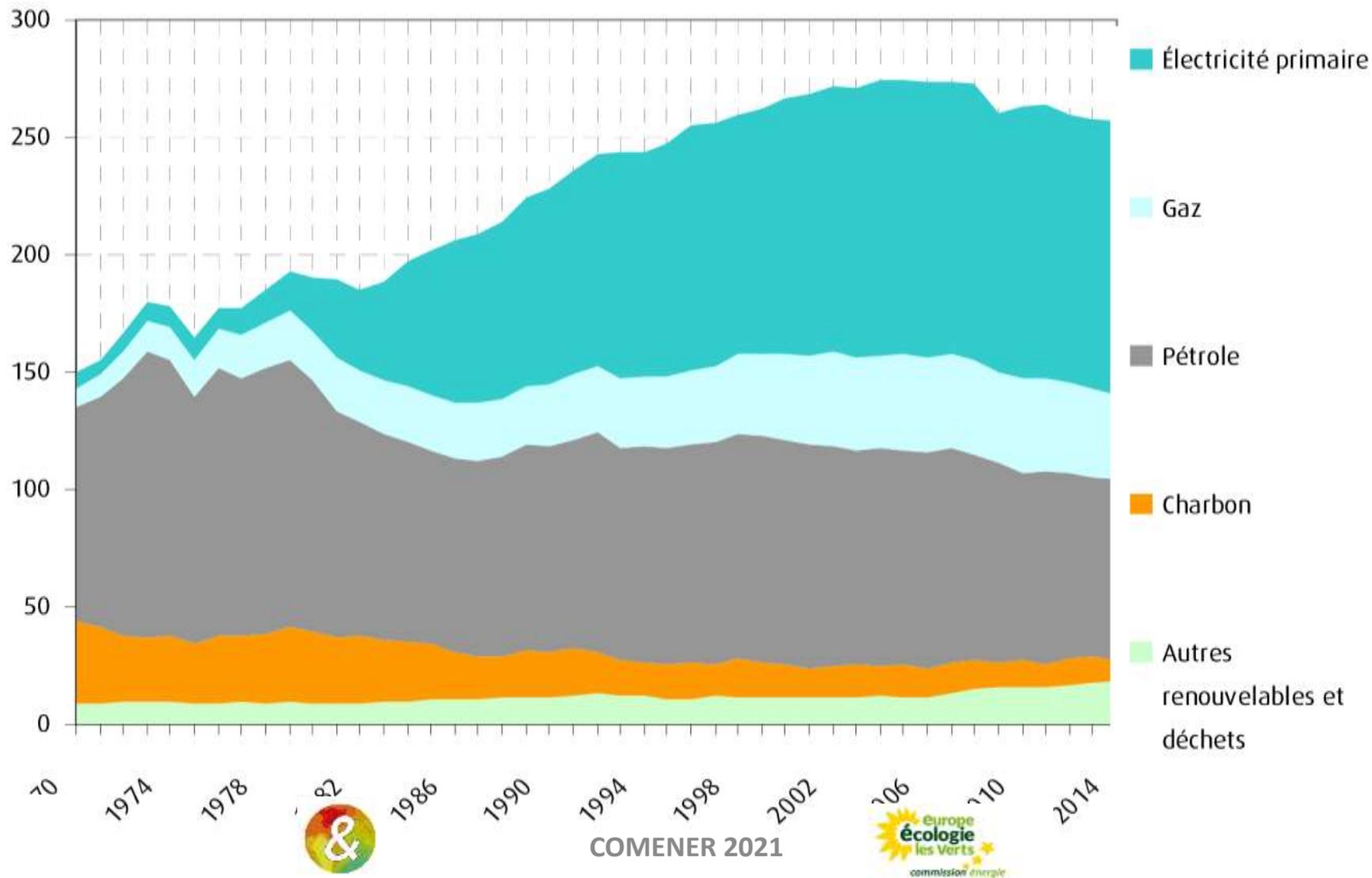
Coal Oil Natural gas Biofuels Waste Nuclear Hydro Geothermal Solar PV Solar thermal Wind Tide Other sources

Le piège des mesures en équivalent pétrole (tep)

- La Tep primaire a une rationalité initiale intéressante car elle intègre bien les gaspillages dans l'énergie finale. Elle prend des rendements normatifs, par exemple 33% pour le nucléaire ou le charbon, 10% pour la géothermie (BP utilise d'.
- Typiquement, l'hydraulique sera comptée en tep primaire trois fois moins qu'en kWh que le charbon ou le nucléaire. Elle dépasse pourtant dans de nombreux pays du monde ces énergies dans le bilan.



La tep finale gonfle la production « nationale » et le sentiment d'indépendance

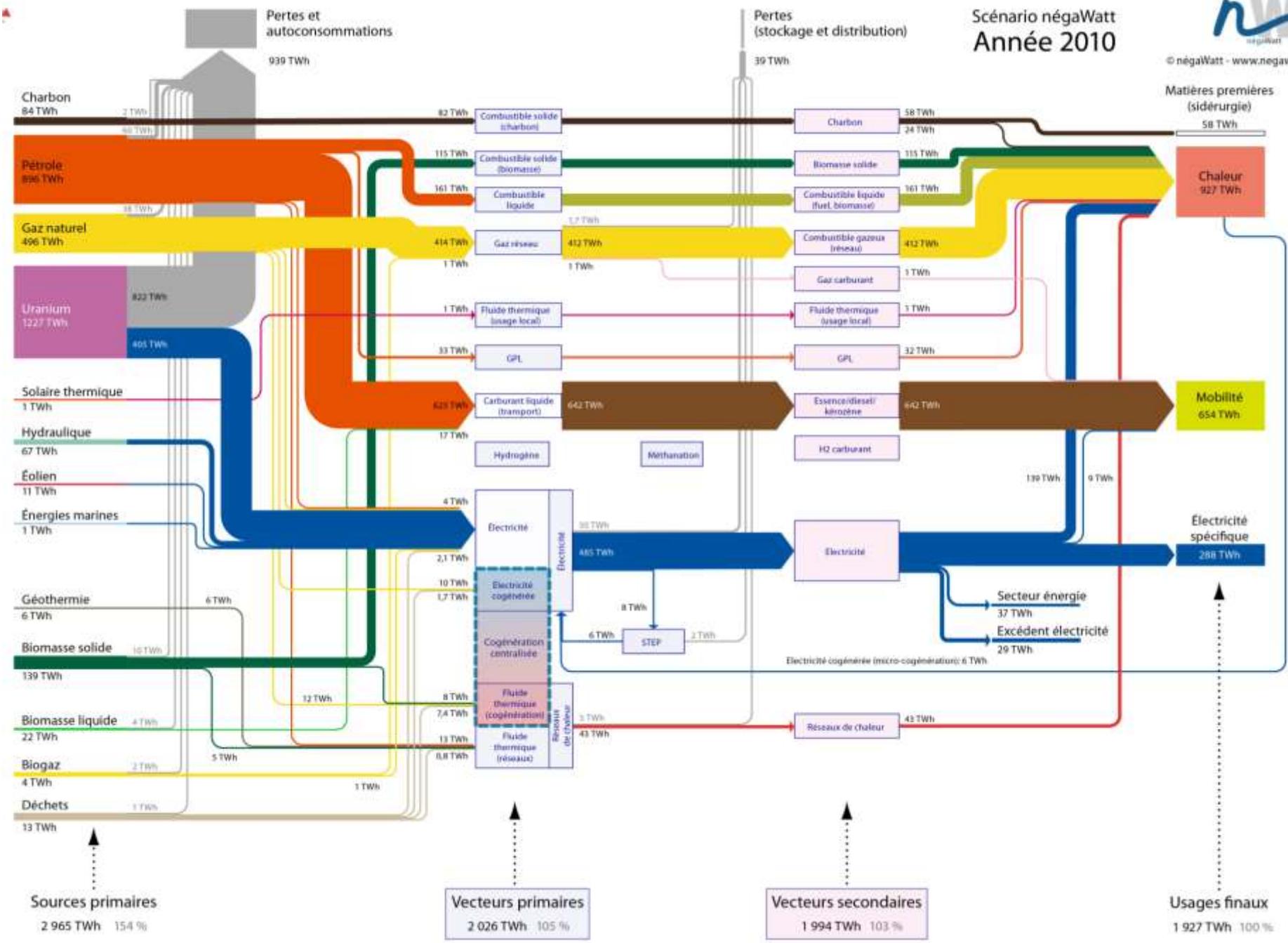


Les vecteurs d'énergie

- Certaines formes d'énergie ne sont que des « **vecteurs** », intermédiaires entre la ressource primaire et l'usage final. C'est le cas de l'électricité.
- D'autres énergies sont à la fois un vecteur mais aussi **une ressource pour la chimie** ou des matières premières (l'hydrogène)
- Enfin, le gaz naturel est à la fois une ressource primaire, un vecteur et une matière première de la chimie (pour les engrais).

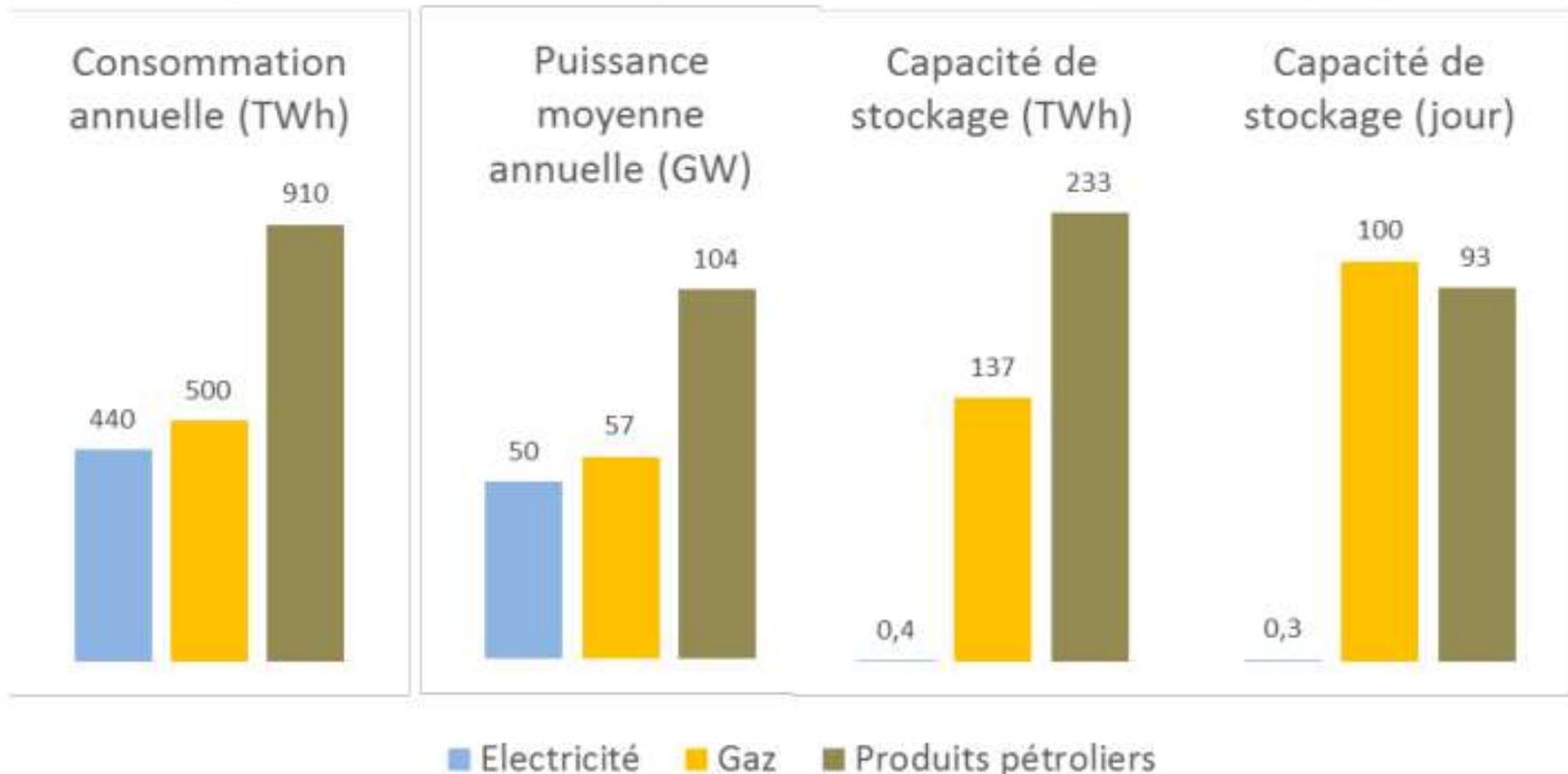
Cette notion de vecteurs sera centrale pour repenser le système énergétique.





Quels stockage par vecteur?

Figure 2 - Consommation énergétique et capacité de stockage en France (2012)



NB : la capacité de stockage en jours est estimée à puissance moyenne annuelle

Source : E&E consultant d'après (SOES, 2013), (DGEC, 2008), (DGEC, 2009), (DGEC, 2011)



Comment changer de vecteur?

Points à développer dans le cours « 100% énergies renouvelables »

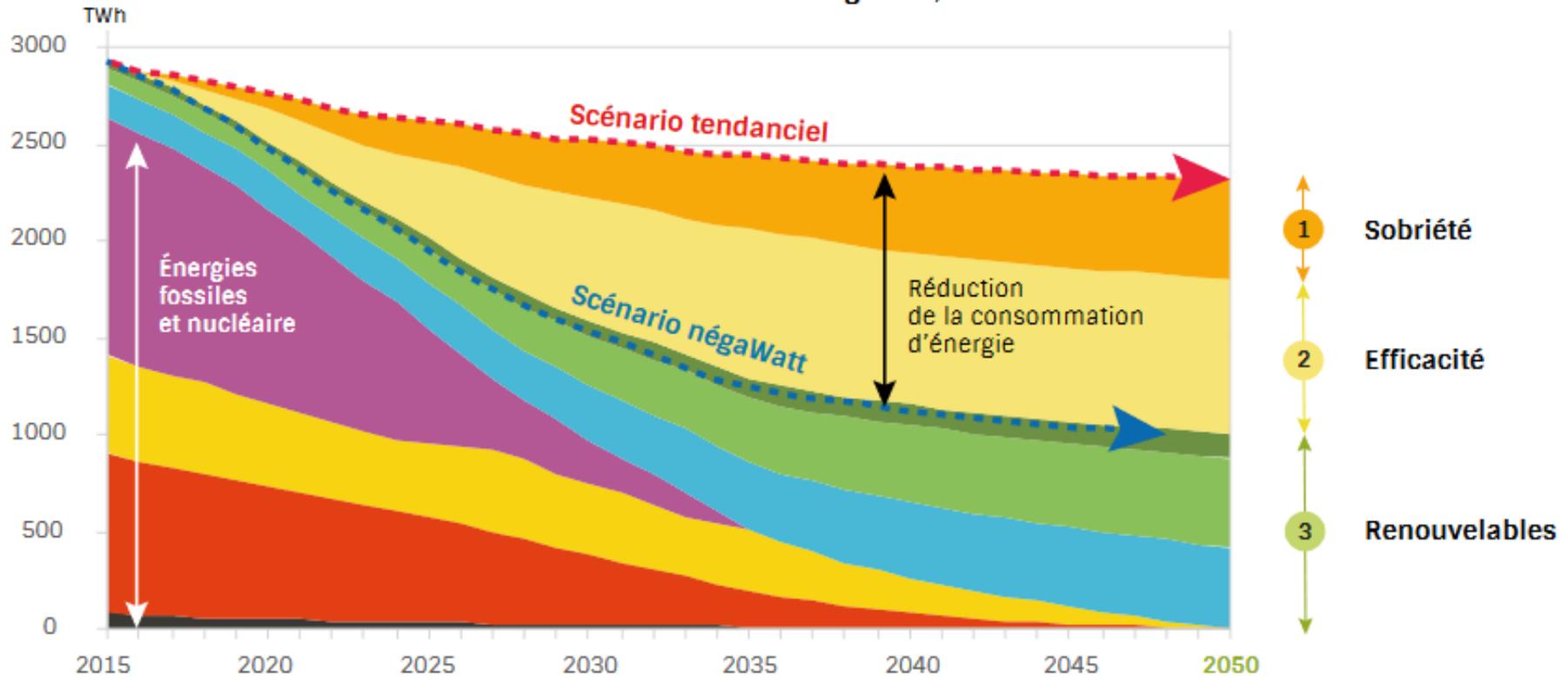
Matrice des vecteurs d'énergie				
De / Vers	Chaleur	Electricité	Gaz	Hydrogène
Chaleur	x	ORC	x	x
Electricité	Pompe à chaleur	x	Méthanation	Electrolyse
Gaz	Combustion	Turbines / Pile à combustible	x	Reformage
Hydrogène	Pile à combustible	Pile à combustible	Méthanation	x

Parcs d'Activité TRI/REV3. [E&E Consultant; Cohérence Energies; Co-Porteurs; Synergie]

* ORC : Cycle Organique de Rankine. Les machines à ORC transforment des sources de chaleur en électricité. Elles sont notamment utilisées dans les industries lourdes mettant en œuvre des chaleurs élevées (cimenteries...)

Le graphe raconte une histoire...

Évolution de la consommation d'énergie primaire dans les scénarios tendanciel et négaWatt, entre 2015 et 2050



- Charbon
- Pétrole
- Gaz fossile
- Uranium
- Renouvelables électriques
- Bioénergies
- Autres renouvelables
- Efficacité
- Sobriété

--- **Scénario tendanciel :**
scénario de poursuite des
tendances actuellement observées
sans nouvelles politiques et mesures



Plan du cours

- Introduction sur le charbon
- Unités et bilans énergétiques, les vecteurs d'énergie
- Les équations de Kaya
- L'énergie grise et les indicateurs de durabilité
- Trois notions issues de l'économie



Les équations de Kaya

Quatre facteurs sont posés : la population, le PIB par habitant, l'intensité énergétique (=énergie par PIB) et l'intensité carbone (= contenu en CO2 de l'énergie). Identité de Kaya : **CO2 = CO2**, soit:

CO2 = Population X PIB par habitant X Intensité énergétique X intensité carbone

L'équation peut porter sur d'autres impacts et sur un périmètre mondial, sectoriel ou régional. L'impact sur l'environnement va dépendre des facteurs **P (Population)**, **A (Richesse (Affluence en anglais))** et **T (Technologie)**

Le GIEC (SRES 2000) souligne les limites de l'équation de Kaya, dont les termes ne constituent pas les causes premières des émissions de CO2 et ne sont pas indépendants les uns des autres.

Ainsi le niveau de vie a une influence sur le taux de natalité. Il met en garde également contre une analyse au niveau global du fait de la grande hétérogénéité des régions du monde, avec des évolutions très différentes des quatre facteurs selon les régions. Le GIEC souligne qu'en l'état actuel des connaissances, il est impossible de faire des prévisions d'émissions de CO2, ce qui l'a conduit à élaborer des scénarios



Kaya et l'idéologie

L'équation est un aimant pour la controverse, car il est très simple ($CO_2=CO_2$) et crédibilise le raisonnement:

- **Guide pour l'inaction**, par exemple « l'important c'est la démographie »... ou bien « l'évolution passée ne permet pas un changement suffisant »
- **Guide pour l'action**, en permettant une désagrégation des termes entre eux et en zones géographiques. Mais aussi en simplifiant les millions de terme de la transition on risque de la rendre « facile ».



Du Kaya dans tous les sens...

- « 7 enfants par femme au Niger... » selon certains, *l'équation de Kaya démontre que la démographie c'est le cœur « caché » du débat*
- « Dans le scénario les Français n'ont pas besoin de lave-vaisselle » (sic), scénario anti-nucléaire, participant NPA. Autre exemples « si tout le monde était végétarien... » « si tout le monde arrêterait de voler... »
- Autre exemple, il est démontré « via Kaya » que la position de -60% du Parlement Européen est « impossible »
- (Contrepoints <https://www.contrepoints.org/2020/10/12/382000-co2-60-de-reduction-dici-2030-un-objectif-mortifere>), voire « communiste »...*Nous sommes sur la route de la servitude écologique, route dont la destination nous promet misère, oppression, et dévastation.*

L'idéologie dans une équation « neutre »

D'où vient l'erreur ? Souvent c'est un refus de la complexité (voir pages suivantes).

Cela vient aussi **d'une confusion entre positions idéologiques et scénario**. Le scénario (et le modèle pour le développer) pose un dialogue quantifié, et repousse le cadre mental des participants en explorant les possibles. Il crée aussi un espace partagé entre points de vue, comme le fait une revue à comité de lecture, pour hiérarchiser les problèmes et acter des solutions consensuelles...

L'équation même simplifiée donne un « vernis » au discours quels que soient les arguments.



Pour se parler, il faut quantifier...

Exemple de la démographie. C'est la seule donnée sur laquelle des projections solides de très long terme sont partagées via l'ONU. L'identité de Kaya doit ici être désagrégée et montre que ce facteur joue assez peu dans le scénario.

Chaque bébé africain de pays pauvre (hors pays en développement type Maroc ou Afrique du Sud) émet moins de 1/5 ou 1/10 par rapport à son homologue européen.

Le problème de la démographie, c'est que les politiques sont soit lentes et liées au développement, soit coercitives (Inde, Chine...). Le tout permet de reporter la charge sur d'autres pays que le nôtre... Par contre, la déforestation va jouer nettement plus... de même que nos consommations importées (non représentées ici)



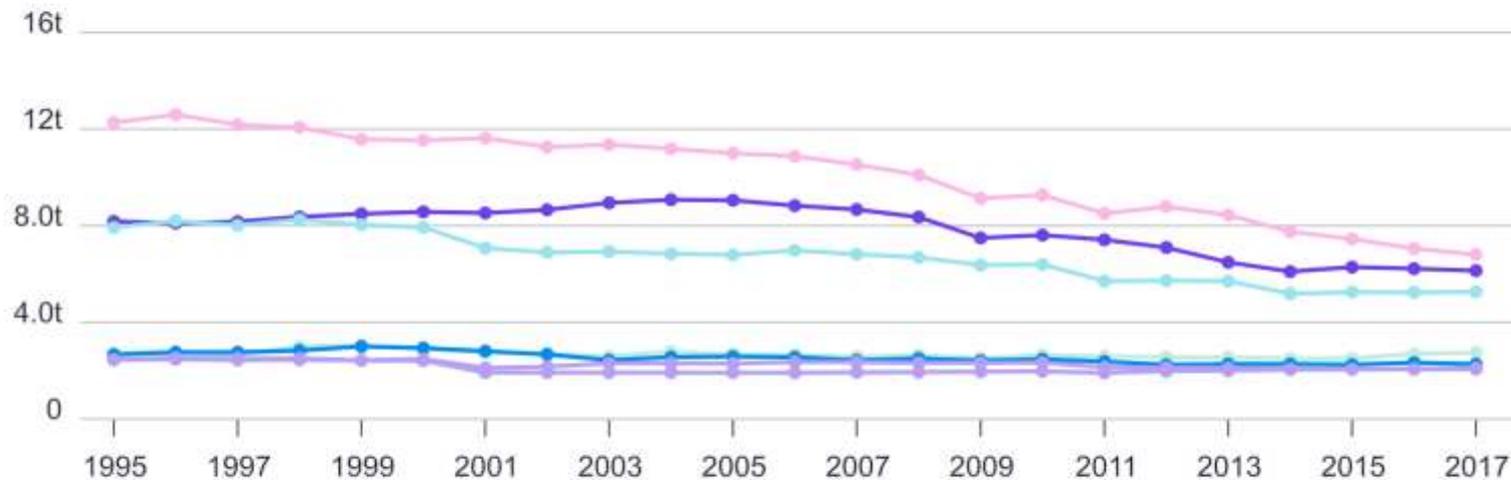
Des comparaisons Nord-Sud pas faciles

Historical GHG emissions

CLIMATEWATCH

Data source: CAIT; Countries/Regions: Burkina Faso, France, Italy, Mali, Niger, Senegal, United Kingdom; Sectors/Subsectors: Total including LUCF; Gases: All GHG; Calculation: per Capita; Show data by Countries.

CO₂e per capita



United Kingdom

Italy

France

Mali

Senegal

Burkina Faso

Niger



COMENER 2021



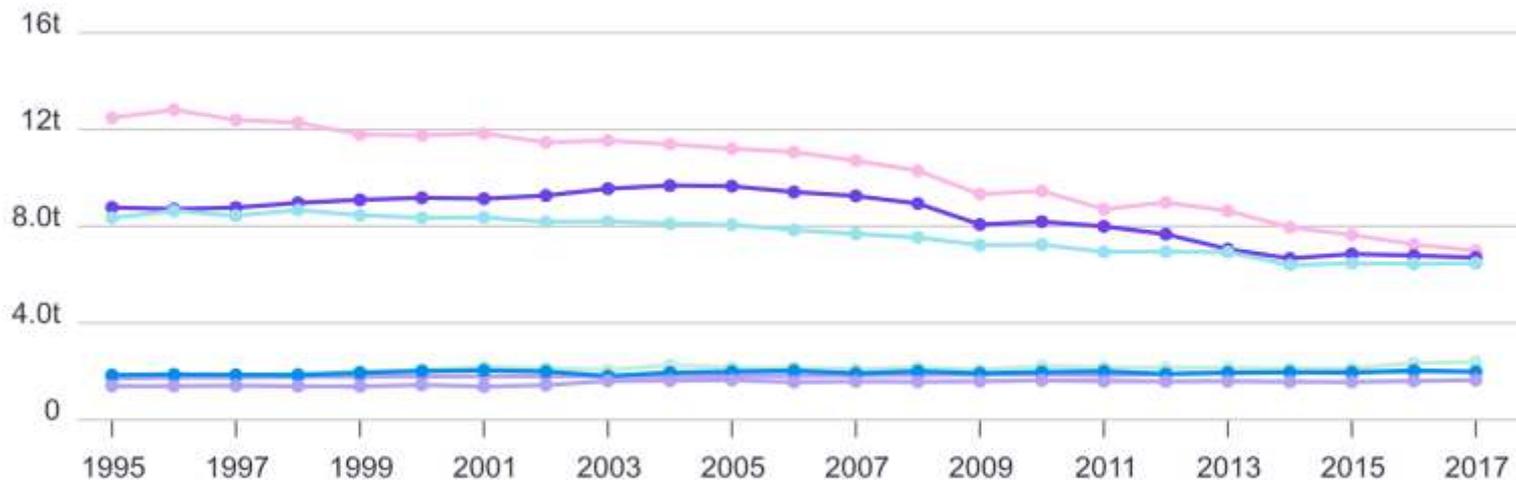
3 à 5 bébés nigériens... et un bébé européen

Historical GHG emissions

CLIMATEWATCH

Data source: CAIT; Countries/Regions: Burkina Faso, France, Italy, Mali, Niger, Senegal, United Kingdom; Sectors/Subsectors: Total excluding LUCF; Gases: All GHG; Calculation: per Capita; Show data by Countries.

CO₂e per capita



COMENER 2021

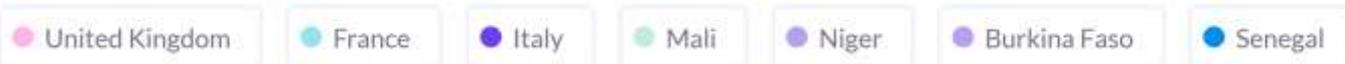
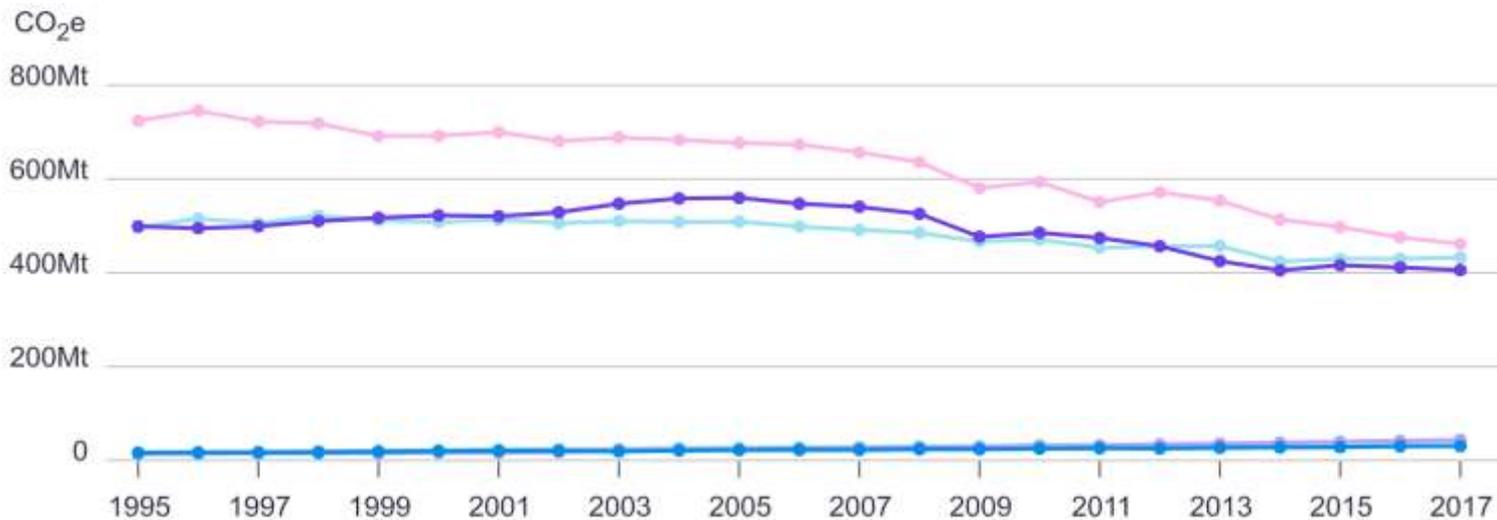


Total (sans forêts et puits)

Historical GHG emissions

CLIMATEWATCH

Data source: CAIT; Countries/Regions: Burkina Faso, France, Italy, Mali, Niger, Senegal, United Kingdom; Sectors/Subsectors: Total excluding LUCF; Gases: All GHG; Calculation: Total; Show data by Countries.

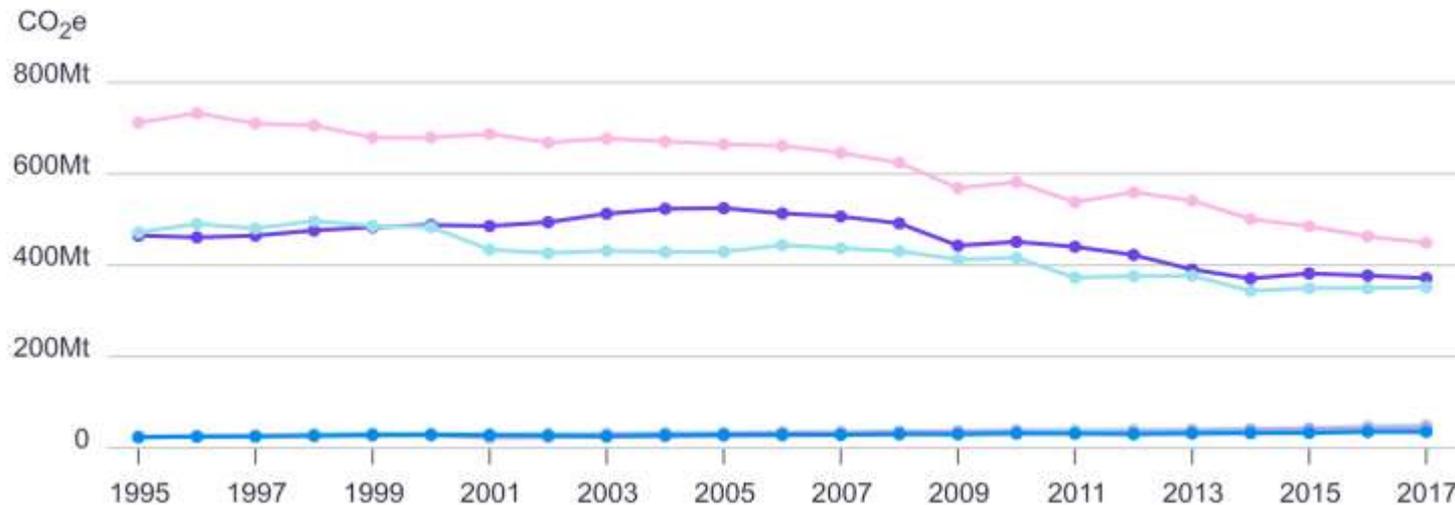


Per capita avec les puits (CAIT-WRI)

Historical GHG emissions

CLIMATEWATCH

Data source: CAIT; Countries/Regions: Burkina Faso, France, Italy, Mali, Niger, Senegal, United Kingdom; Sectors/Subsectors: Total including LUCF; Gases: All GHG; Calculation: Total; Show data by Countries.



Le même vu par l'institut Postdam (PIK)

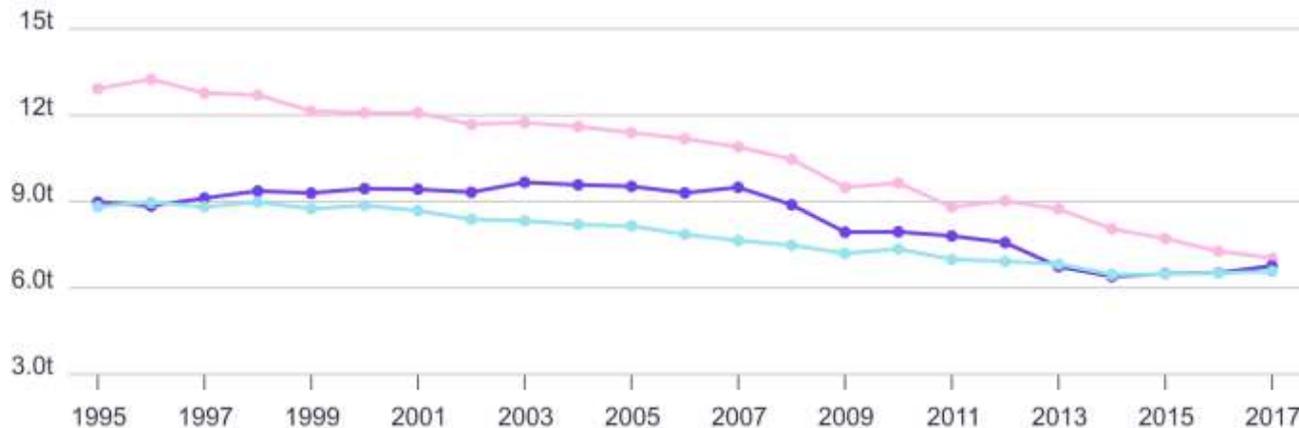
(avec les puits, émissions per capita)

Historical GHG emissions

CLIMATEWATCH

Data source: UNFCCC Annex I; Countries/Regions: France, Italy, United Kingdom; Sectors/Subsectors: Total GHG emissions with LULUCF; Gases: Aggregate GHGs; Calculation: per Capita; Show data by Countries.

CO₂e per capita



United Kingdom

Italy

France



COMENER 2021



Le même vu par la CCNUCC (UNFCCC)

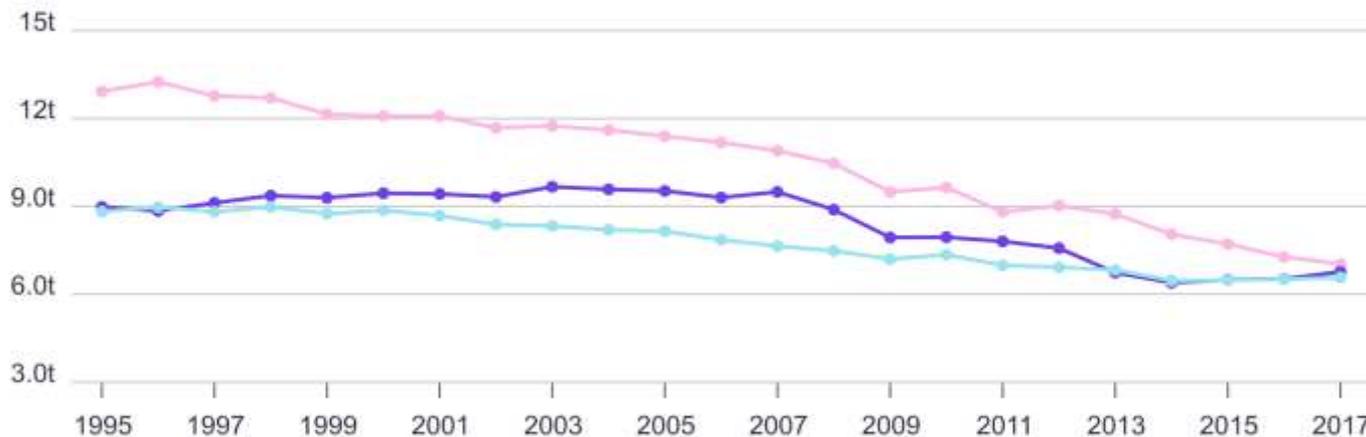
Avec les puits, émissions per capita (base CAIT / UNFCCC)

Historical GHG emissions

CLIMATEWATCH

Data source: UNFCCC Annex I; Countries/Regions: France, Italy, United Kingdom; Sectors/Subsectors: Total GHG emissions with LULUCF; Gases: Aggregate GHGs; Calculation: per Capita; Show data by Countries.

CO₂e per capita



United Kingdom

Italy

France



COMENER 2021



Industrie: Kaya en détail

Une équation de Kaya pour détailler les étapes de décarbonisation

Le GIEC SOD AR6 (en cours) conclut de façon plutôt optimiste sur la capacité des branches industrielles à neutraliser leurs émissions



Facteurs de demande finale et industrielle

Facteur d'échanges

Facteurs de production

Demande décarbonisation	Factors	Policies
	population	population control policies
	services (expressed via GDP – final consumption and investments needed to maintain and expand stock) per capita	sufficiency and demand management (reduction)
	material stock (accumulated in-use stocks of materials embodied in manufactured fixed capital) intensity of GDP	material stock efficiency improvement
	material inputs (both virgin (MPR and recycled MSE)) per unit of in-use material stock	material efficiency, substitution and circular economy
Production décarbonisation	share of allocated emissions - valid only for sub-global levels)*	trade policies including carbon leakage issues (localization versus globalization)
	energy use for basic material production (E_m , processing and other operational industrial energy use (E_{oind} per unit of material inputs	energy efficiency of basic materials production and other industrial processes
	direct (GHG_{ed} and indirect (GHG_{eind} combustion-related industrial) emissions per unit of energy	electrification, fuel switching, and energy decarbonisation (hydrogen, CCUS-fuels)
	emissions from industrial processes and product use, waste, F-gases, indirect nitrogen emissions per unit of produced materials	feedstock decarbonisation (hydrogen, CCUS-industrial processes, waste and F-gases management)

- **Introduction sur le charbon**
- **Unités et bilans énergétiques, les vecteurs d'énergie**
- **Les équations de Kaya**
- **L'énergie grise et les indicateurs de durabilité**
- **Deux notions issues de l'économie**

L'énergie grise

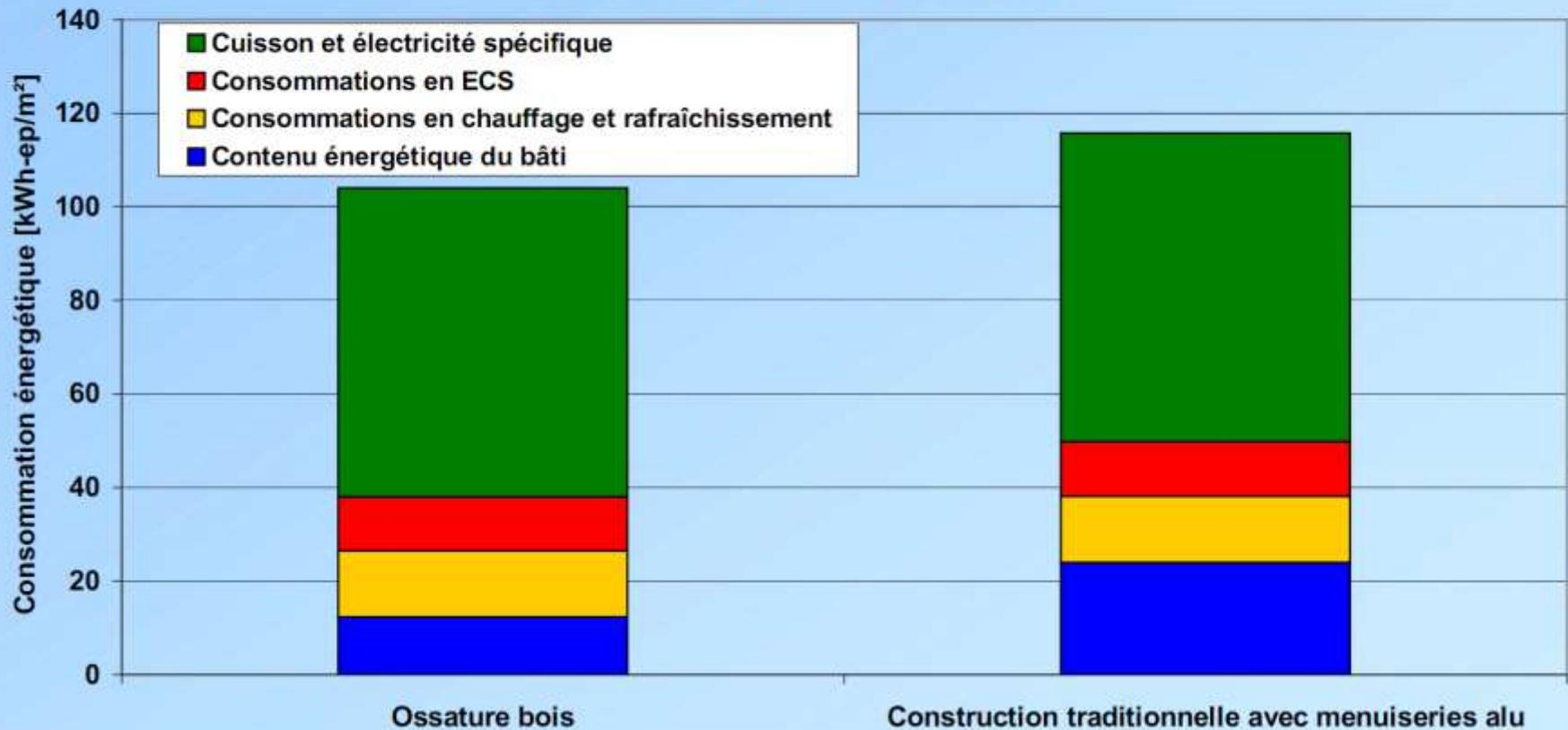
- Elle correspond à l'ensemble de l'énergie nécessaire à l'emploi d'un produit :
 - Conception
 - Fabrication
 - Usage (maintenance)
 - Recyclage (démontage, tri, destruction et/ou recyclage...)

Attention aux périmètres et hypothèses d'étude pour les comparaisons



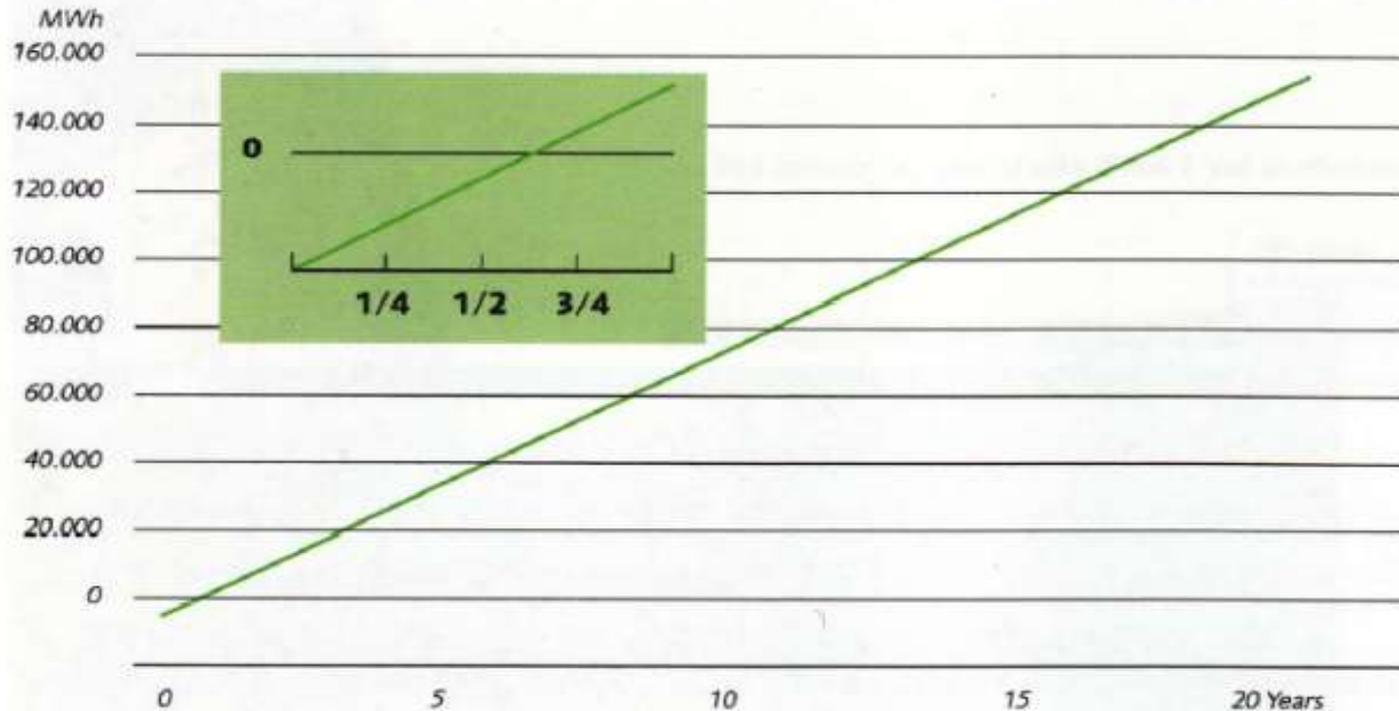
Pour une maison, l'énergie grise n'est qu'une partie de la consommation

Bilan énergétique global sur une durée de vie de 50 ans.
Impact des choix constructifs sur le bilan énergétique global pour des consommations moyennes d'électricité spécifique.



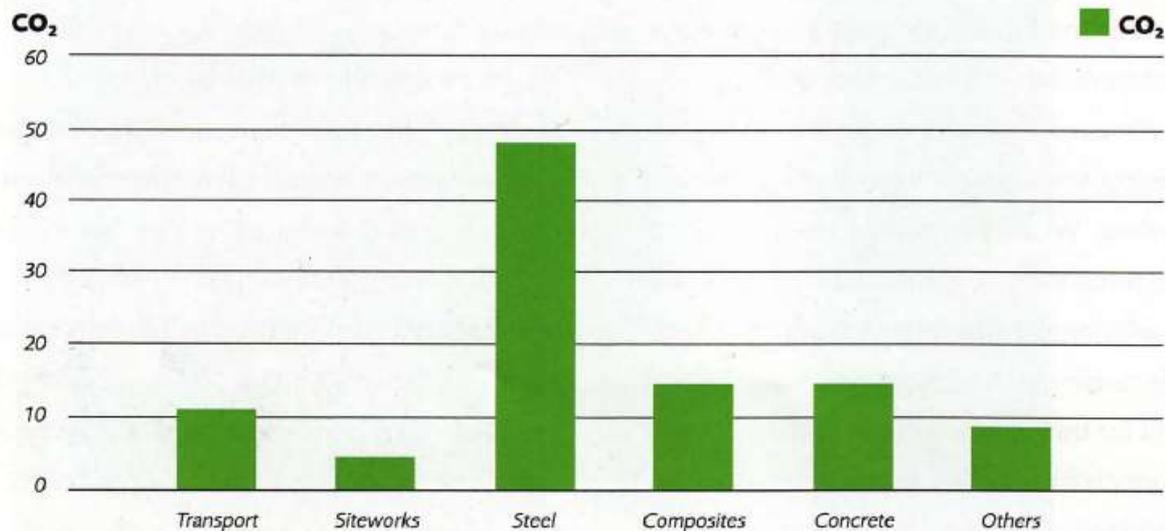
Energie grise – le cas d'une éolienne

Figure 4: This energy balance reflects the time a wind turbine needs to be in operation before it has produced as much energy as it will consume in its entire life cycle. A V90-3.0 MW onshore wind turbine has an average energy payback time of just 6.6 months.



Eolien côté émissions (bilan GES)

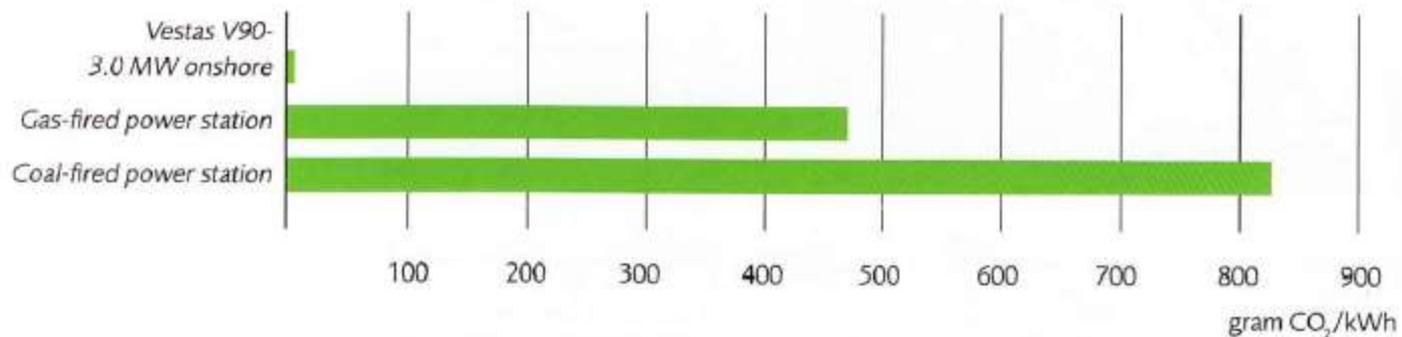
Figure 5: Energy breakdown (expressed as a percentage of total CO₂ emissions) by material and task over the lifetime of a V90-3.0 MW wind turbine. By far the largest single contributor is steel.



Par rapport aux énergies fossiles...

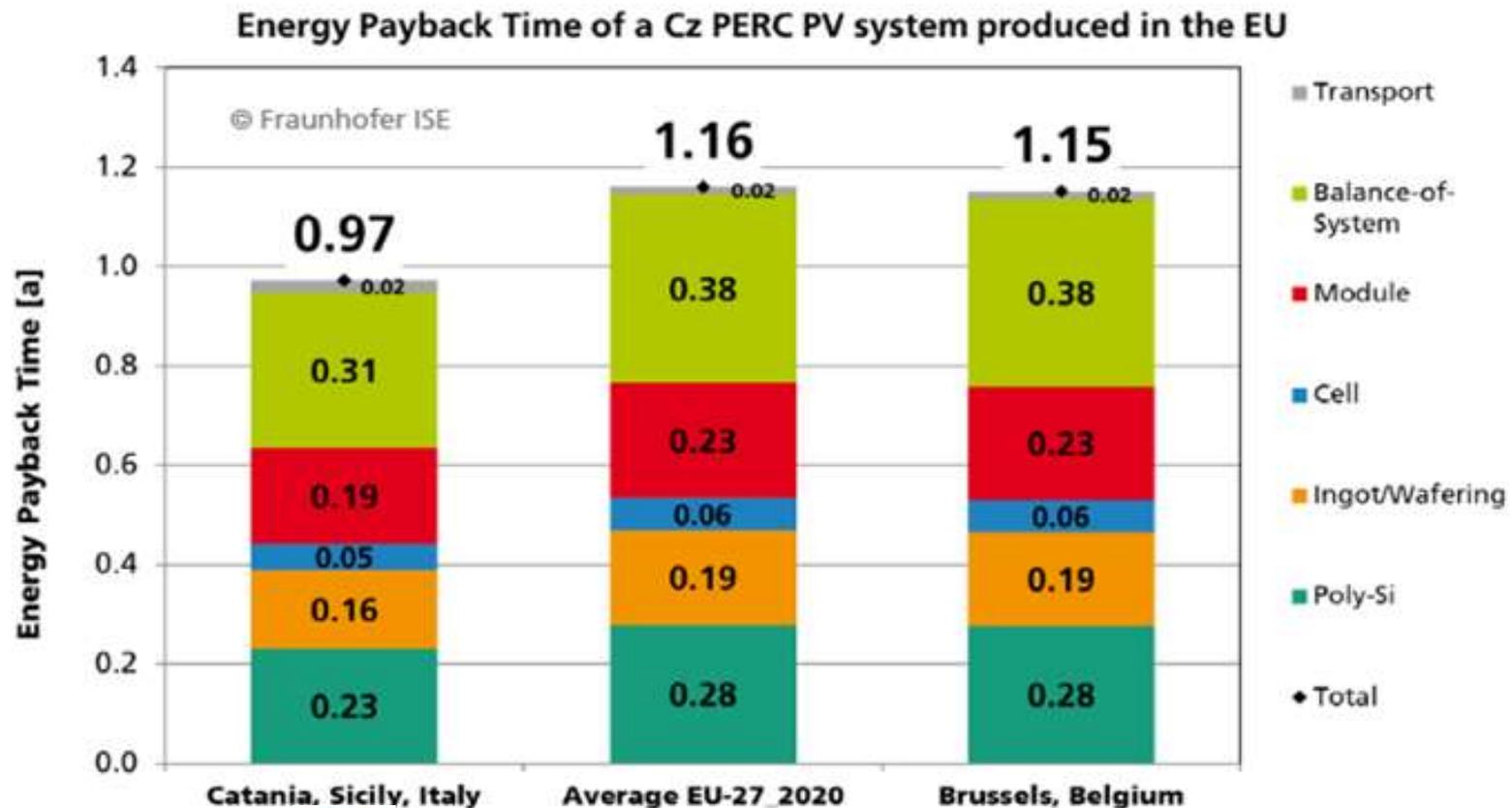
Figure 3: Compared to fossil fuels, wind power produces virtually no CO₂. Shown here are relative figures for CO₂ emissions from electricity produced from V90-3.0 MW onshore wind turbines, gas and coal.

CO₂ emissions for 1 kWh electricity produced by:



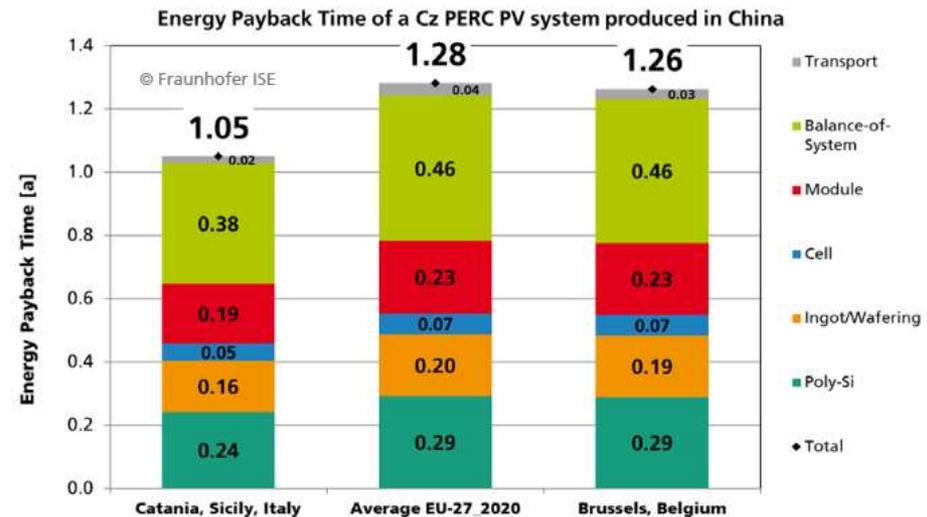
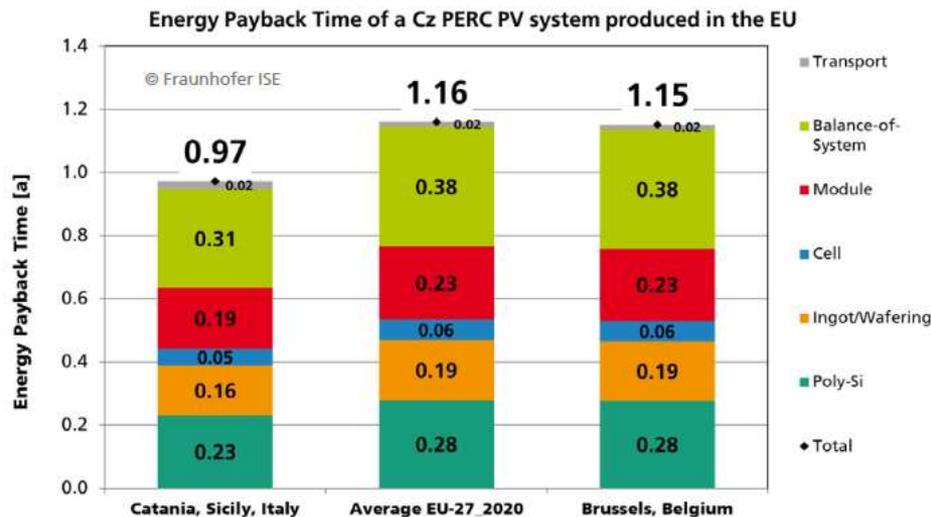
Energie grise du photovoltaïque (PV)

Exemples de retours sur l'énergie investie (en années) pour trois cas d'installations solaires (en toiture) en Europe.



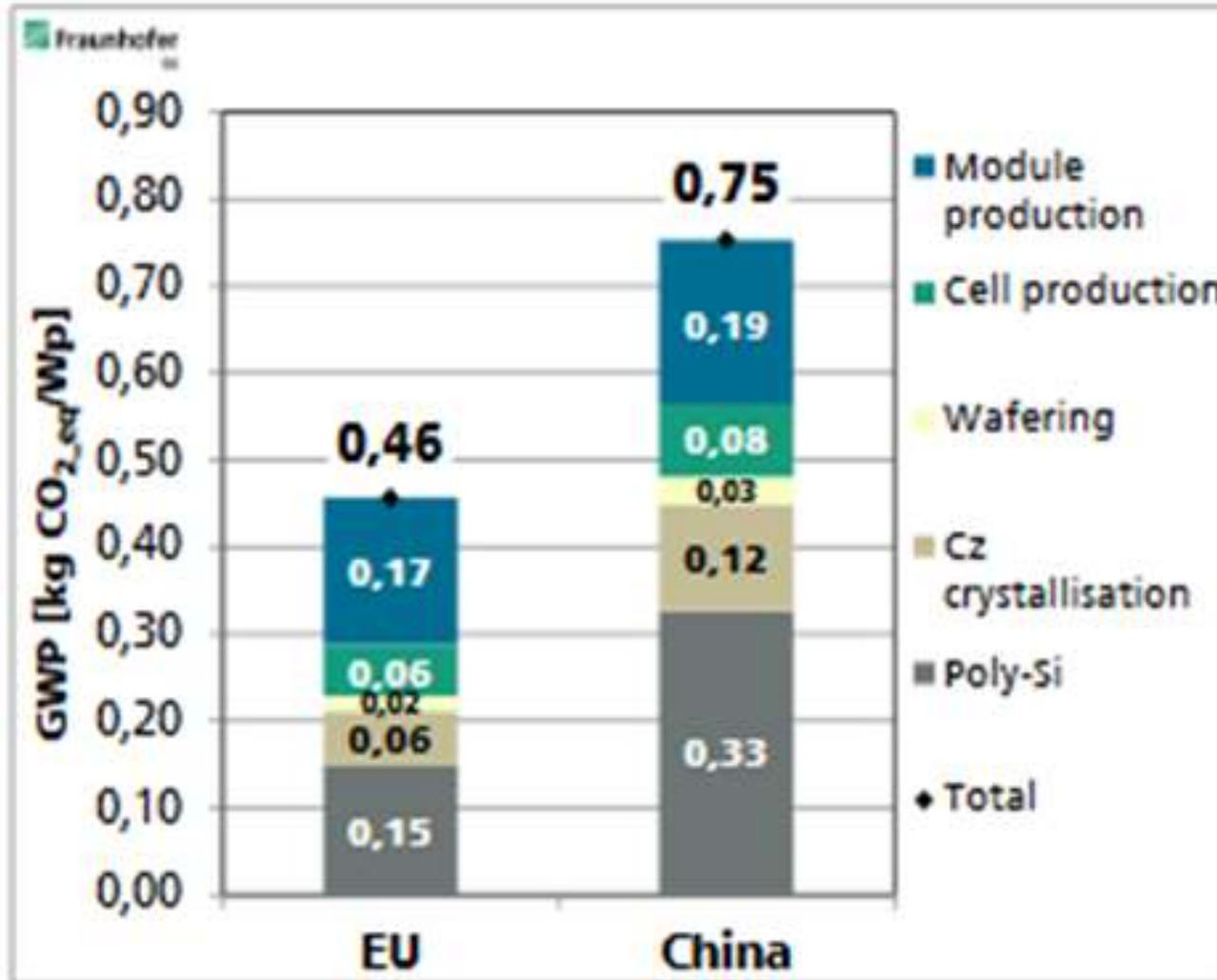
Fabriquer en Chine ou en Europe...

Comparaison des énergies investies en Chine et en Europe. **L'énergie mise en œuvre dans les deux pays est similaire.** Le transport joue pour une **très faible partie** (en gris). D'ailleurs, des deux côtés, les usines sont construites par des fabricants de Suisse, d'Allemagne, etc.



EPBT for PV systems produced in Europe is shorter than for those produced in China because of better grid efficiency in Europe.

Pour les émissions c'est un peu différent



Estimation des énergies investies dans un module de 1 Watt-crête (Fraunhofer)

Ici aussi, le coût ne vient pas du transport, mais avant tout des écarts sur l'approvisionnement en énergie et en électricité



L'« EROI » et la soutenabilité long terme

L'énergie grise ou indirecte a donné lieu à un indicateur, l'**EROI**...

« Energy Return on Investment » (retour en énergie de l'investissement) soit

Energie utile fournie / Energie investie = EROI

La notion de EROI est parfois utilisée pour décrire le caractère soutenable ou non des technologies sur le long terme, voire des considérations sur la « viabilité d'une civilisation ».



Exemples d'EROI

Elle permet de comprendre certaines évolutions de long terme mais est problématique pour déterminer les technologies « gagnantes » ou celles qui vont permettre la transition énergétique.

La critique concerne en effet le plus souvent de systèmes ouverts: filière charbon, sables bitumineux, agro-carburants, cycles nucléaires... ou encore certaines énergies renouvelables (cf. Donald Trump 2^{ème} débat, nous explique que *l'éolienne va consommer plus d'énergie dans sa vie qu'elle ne va en produire.*)

Pour ces exemples, le rendement du système, son coût, ou encore le gain carbone mesuré sur un cycle long peut être plus pertinent. En effet, dans l'EROI on ne compte pas l'énergie primaire mais seulement les énergies finales « utiles » produites par l'installation (!)



EROI (suite)

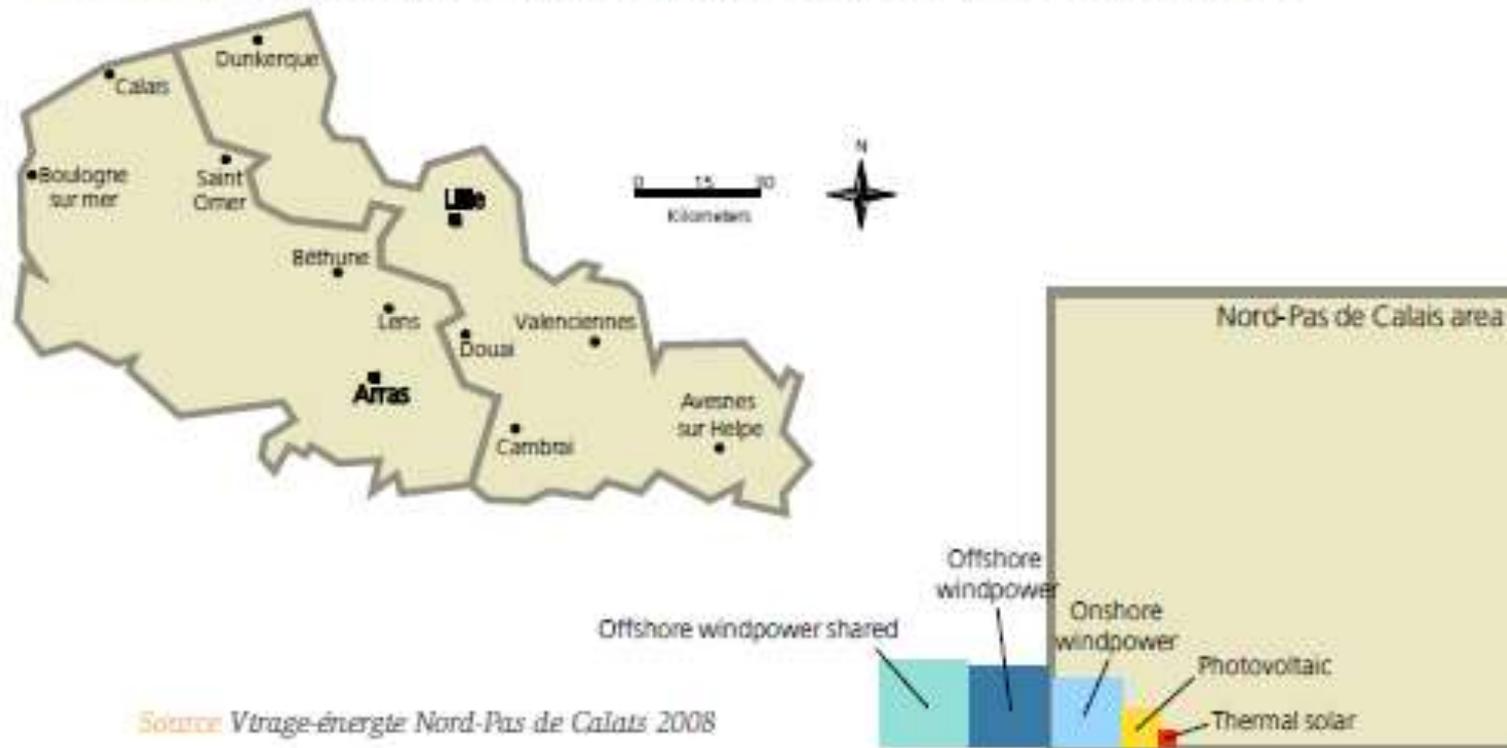
- Certains auteurs lient les rendements globaux avec la chute des civilisations, ou encore une « thermodynamique des économies » (Nicholas Georgescu-Roegen...) liées à l'inflation des consommations ou à la viabilité des civilisations. L'interprétation se situe difficilement à court terme.
- En effet, les technologies évoluent beaucoup, notamment en fonction du coût (cf. cours Economie Industrielle) de même que l'horizon de l'épuisement des ressources. Un instrument comme le EROI décrit la soutenabilité de long terme pas la viabilité d'une technologie (cf cours N°6 Industrialisation des Filières).
- Lire par exemple: https://www.nature.com/articles/s41560-019-0327-0.epdf?author_access_token=sEXSjnp3eSJHYsKYMQUI8rtRgN0jAjWel9jnR3ZoTv0PIj2P0iQqSRzqgMkaclyo-Q1Fq6Zr6cp-xP0elYjNY6XWCguuZi8B3fZZ_ZY06uggUTny84V8ETnygmVVUFQr_adX7K0qrfz-8IM2pPsGMhA%3D%3D



Autre indicateur: Surfaces nécessaires

L'empreinte du scénario Virage Energie Nord Pas de Calais (VE-NPDC)

DIAGRAM 13 THE VIRAGE-ENERGIE SCENARIO RENEWABLE ENERGY SOURCES FOOTPRINT IN 2050

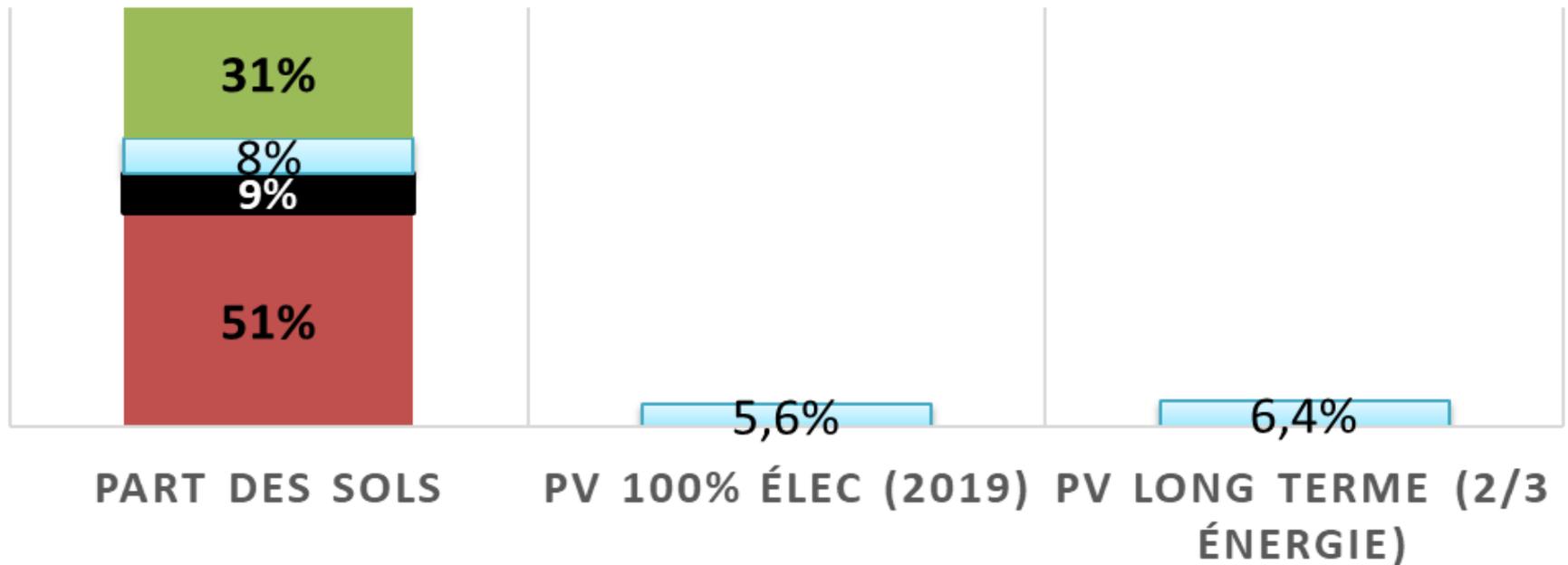


Our plan for renewable energy sources is ambitious, but achievable. This diagram shows the proportion of the total surface area of Nord-Pas de Calais compared to the surface required to produce power using wind and solar energy by 2050. Windmills and solar panels will only cover a very limited part of the overall surface area of our region.



Surface mobilisée par 100% PV

EMPREINTE D'UNE FRANCE 100% PV



■ Agricole

■ Artificialisé

■ Zones Humides, landes et lacs

■ Forêt

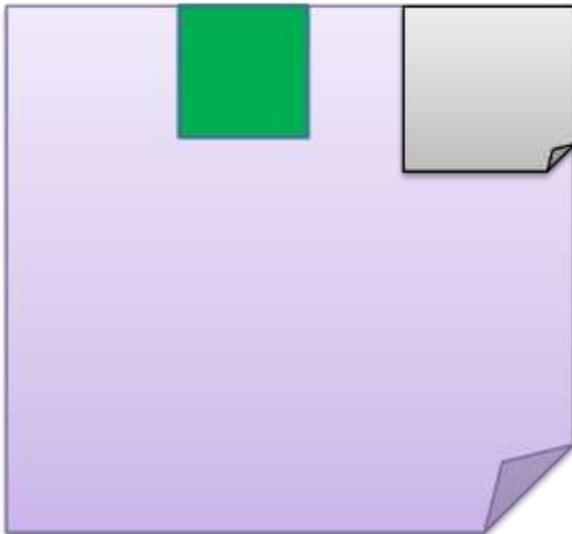


COMENER 2021

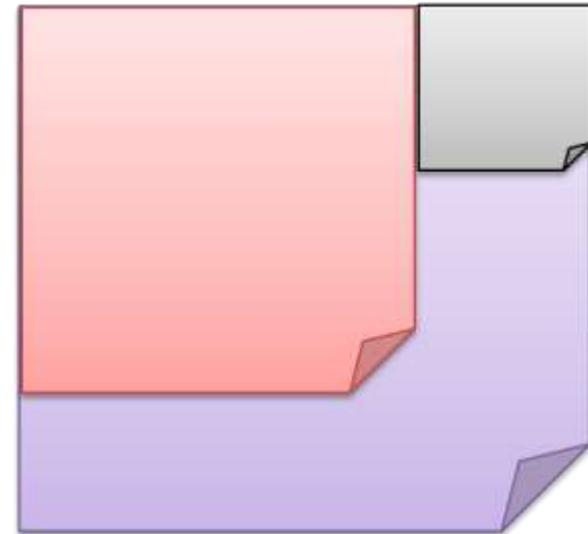


Représentations stylisée de l'empreinte

Usages des terres en France: PV 100% vs artificialisé



Usages des terres en France: agricole vs artificialisé



	VA Mds€	% PIB
Agriculture	34,6	1,4%
Energie*	102	4,3%
Total VA	2400	

* Facture HT importations + services intérieurs
D'après chiffres clé de l'énergie 2018
Facture imports = 45 Mds€

Les besoins en surface...

L'empreinte du système énergétique peut nous guider à orienter les scénarios, en tenant compte du caractère **irréversible ou non** (nucléaire vs éolien), de sa **compatibilité avec d'autres usages** (habitation, agriculture...)

Autre question, la **concurrence des usages** (par ex. terres arables) mais aussi le **risque pris à proximité** des installations (charbon, nucléaire...). On peut aussi comparer simultanément des **valeurs ajoutées** ou des **emplois**.

Soutenable / Durable...

- Les indicateurs précédents visent à tenir compte du long terme. Il y en a de nombreux autres : nutriments ou pollutions des sols, matériaux précieux non recyclés...
- Ils nous permettent de réfléchir aux limitations des scénarios, d'y remédier si possible (feuilles de route, R&D...) ou de poser des compromis (cf. ODD).
- Ils ne suffisent pas à « interdire » ou à décréter « impossible » un scénario, juste de le qualifier.
- Le point important à retenir est la distinction entre une soutenabilité de court-moyen terme et celle d'une aspiration au long terme.



- **Introduction sur le charbon**
- **Unités et bilans énergétiques, les vecteurs d'énergie**
- **Les équations de Kaya**
- **L'énergie grise et les indicateurs de durabilité**
- **Deux notions issues de l'économie**

Deux notions issues de l'économie

- Les **coûts échoués** ou irrécupérables (« sunk costs »)
- L'**actualisation** des coûts et des productions et le coût



Les coûts échoués

- Les **coûts échoués (« sunk costs »)** correspondent à un investissement ou une infrastructure qui ne peut pas être amortie, souvent à cause d'une décision politique : par exemple, une centrale électrique polluante perd sa licence suite à une nouvelle loi sur la pollution.
- Pour une entreprise privée, c'était sa prise de risque « normale ». Des procédures de « protection des investissements » (dans la Charte de l'Énergie ou dans des traités de commerce) sont source de litiges.
- Pour le délégataire public ou le concessionnaire affermé ou en DSP, une discussion est possible sur la perte de revenu ou d'opportunité, alors que l'infrastructure faisait l'objet d'une autorisation des pouvoirs publics. Le propriétaire peut être fondé à demander une indemnisation.

*La transition **1,5°C** comprend de nombreux exemples comme le réseau de distribution de gaz, les centrales à charbon, voire des aéroports...*



L'actualisation

L'actualisation (en anglais « discounting ») consiste à minimiser les coûts ou les gains d'un investissement pour des années éloignées.

On parlera à nouveau de l'actualisation dans d'autres cours, notamment pour comparer les filières de production.



L'actualisation

- L'**actualisation** du coût de l'énergie (LCOE pour « Levelized Cost of Energy ») consiste à considérer que les valeurs futures sont moins importantes que celles d'aujourd'hui.
- Le **taux d'actualisation** permet de comparer des objets dont le comportement diverge dans le temps, représentés par des séries temporelles de coûts et de gains.



Un coût actualisé standard

Levelized Cost of Energy

$$\text{LEC} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

LEC = coût actualisé de la production d'énergie

I_t = dépenses d'investissement durant la période t (en année)

M_t = dépenses d'opération et de maintenance durant la période t (en année)

F_t = dépenses de combustible durant la période t (en année)

E_t = électricité produite durant la période t (en année)

r = taux effectif de réduction annuel

n = durée de vie du système.



C'est quoi ce coût actualisé LCOE ?

- En perspective, l'argent **vaut plus aujourd'hui que dans un an**. Le dicton '*un tiens vaut mieux que deux « tu l'auras »*' va donner un taux d'actualisation de 100%.
- Le **taux dépend des acteurs** (riches, pauvres, états, entreprises...). Typiquement un consommateur pauvre ne va pas isoler sa maison de lui-même, car le gain d'après-demain (même pour une action très rentable) sera secondaire par rapport à ses besoins présents.
- Le LCOE permet une comparaison de séquences longues de production et de coûts divers vu d'une année donnée. La formule permet aussi de définir la rentabilité intrinsèque d'un projet, la **Valeur Actualisée Nette (VAN)** ou NPV (« Net Present Value ») dont a besoin le banquier ou le financier



Les problèmes du long terme

Le risque ici est de **fortement dévaluer les charges futures** dans le budget du projet.

- Par exemple, pour un taux de 4%/an, le démantèlement de la centrale nucléaire dans 60 ans sera **décompté à moins de 10% de son évaluation présente** (par surcroît très sous-estimée). Pour un taux d'actualisation de 10% cette valeur est quasi-nulle de même que celle de la gestion des déchets nucléaires. Une parade est de provisionner des actifs et non des écritures comptables (par ex. « la moitié de RTE »)...
- Autre problème, l'investissement dans une ligne de train ou dans une centrale nucléaire (60 ans théoriques) aura un coût initial élevé en CO2 et en **opportunité**, mais ne va économiser du CO2 que bien plus tard. L'actualisation peut alors être trompeuse.



Quel taux « r » si l'humanité disparaît?

- Le rapport Stern réalisé pour le Gouvernement Britannique en 2008, par l'économiste Nicholas Stern a montré que **les dégâts des changements climatiques sont très sous-estimés** par les méthodes économiques traditionnelles (« *le plus grand échec des marchés* »).
- Ce rapport, qui a fait date, pose aussi le fait que les économistes ne sont pas armés pour choisir des préférences vis-à-vis des générations futures, ou encore entre les habitants riches et pauvres de la terre (exemple de la chute d'une météorite qui annihile l'humanité: quel taux d'intérêts choisir?...)
- Selon Stern ce n'est pas aux économistes de donner la réponse. Un autre économiste célèbre, William Nordhaus, prend le point de vue contraire et donne **priorité à la protection du PIB** pour optimiser la trajectoire.



C'est tout pour aujourd'hui

Des questions ?

