



Transport et Énergie

Cédric JUNG

2022





Mon parcours

2

Cédric JUNG – 21 ans
Phalsbourgeois





Où me retrouver ?

Lycée ERCKMANN-CHATRIAN 1^{re}S
Année scolaire 2016/2017

Maryam LARANOVA
Madeline CHAMBLAY
Cédric JUNG

Travail Personnel Encadré



Photographies prises au Donon le 22 janvier 2017

Le dépérissement des conifères vosgiens est-il encore lié principalement aux pluies acides ?



Retrouver mes travaux sur:
<https://cedric-jung.eu/fr/>



1. Définition des types de transports
2. Définition de la notion d'énergie
3. Problèmes limitant l'idée de la voiture individuelle
4. Solutions possibles en admettant les contraintes précédentes
5. La fin du messianisme technologique ?



Problématique des énergies et du réchauffement climatique

5

- The Shift Project et Jean-Marc Jancovici <https://www.youtube.com/watch?v=Vjkq8V5rVy0>

The image shows a video player interface. On the left, a man (Jean-Marc Jancovici) is speaking at a podium with a microphone, and the Sciences Po logo is visible. On the right, a poll question is displayed on a screen:

Selon vous, qu'est-ce que l'énergie ?

A: Ma lecture d'électricité, de gaz... et le plaisir
B: Il faut l'économiser !
C: Il faut 100% renouvelable !
D:

Below the video player, there is a caption in French: "Jancovici : CO2 ou PIB, il faut choisir - Sciences Po - 29/08/2019 - [EN subtitles available]" and a series of interaction icons.

Jancovici : CO2 ou PIB, il faut choisir - Sciences Po - 29/08/2019 - [EN subtitles available]

2 879 403 vues • 30 août 2019

22 K

JE N'AIME PAS

PARTAGER

TÉLÉCHARGER

EXTRAIT

ENREGISTRER

...



Jean-Marc Jancovici
189 k abonnés

ABONNÉ

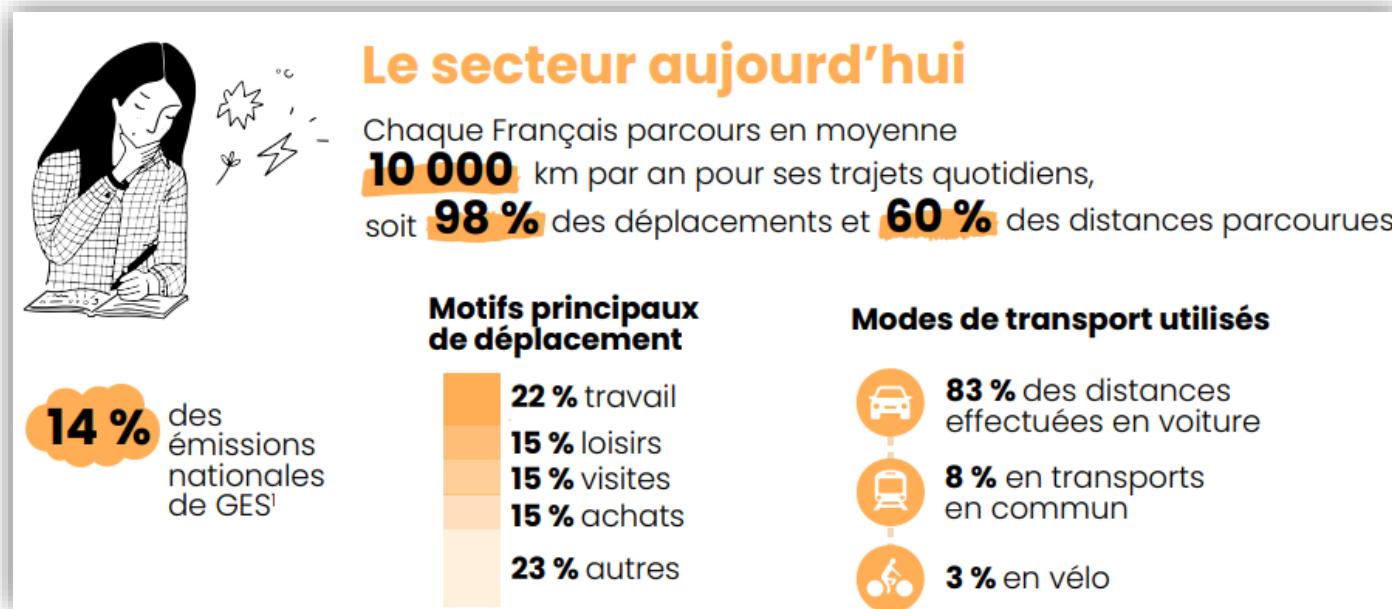




I) Définition des types de transports



■ Transport quotidien et individuel



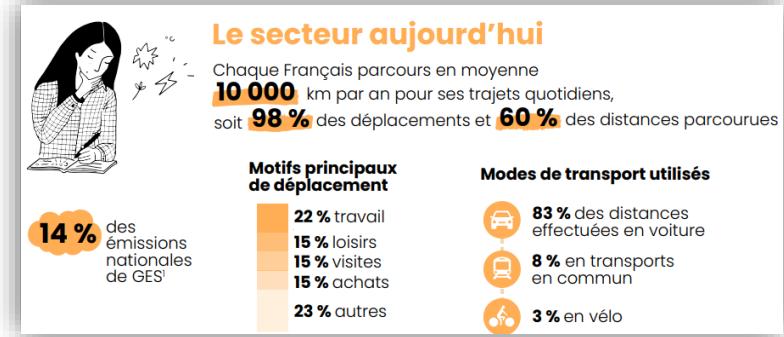
« Le Plan », Plan de transformation de l'économie Française, *The Shift Project*, consulté le 4 avril 2022, <https://ilnousfautunplan.fr/le-plan/>.



■ Transport quotidien et individuel

Pourquoi on a autant de trajet quotidien depuis le siècle dernier ?

- Transport plus rapide
- Coût du transport plus faible
- ➔ On peut se permettre d'habiter de 20 à 40km de son lieu de travail car les transports sont plus rapide



« Le Plan », Plan de transformation de l'économie Française, *The Shift Project*, consulté le 4 avril 2022, <https://ilnousfautunplan.fr/le-plan/>.

Cours de Physique de 6^{ème} pour le choix de son domicile

$$v = \frac{d}{t} \quad \text{ou} \quad t = \frac{d}{v} \quad \text{ou} \quad d = t \times v$$

Si le coût de l'énergie augmente, problème de déplacement ➔ apparition de contestation type Gilets Jaunes



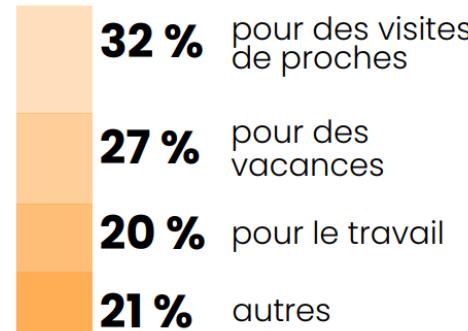
■ Transport longue distance



Le secteur aujourd'hui

Chaque Français fait **6,3** voyages de plus de 80 km par an, soit **8 500** km en moyenne

9 % des émissions nationales de GES¹



85 % des distances sont effectuées en avion ou en voiture



Le train représente **12 %** des distances, alors qu'il émet **40 fois moins** que la voiture



L'avion long courrier représente **2 %** des voyages, alors qu'il émet **1/3** des GES du secteur

« Le Plan », Plan de transformation de l'économie Française, *The Shift Project*, consulté le 4 avril 2022, <https://ilnousfautunplan.fr/le-plan/>.



■ FRET



Le secteur aujourd'hui

27 tonnes transportées sur 200 km² par Français et par an

465 000

c'est **le nombre d'emplois**
dans le transport
de biens essentiels
(nourriture, médicaments,
vêtements, etc.)

9 %

des émissions nationales de GES¹



89 % des marchandises transportées par la route
(contre 34 % en 1960)



9 % des marchandises transportées en train

« Le Plan », Plan de transformation de l'économie Française, *The Shift Project*, consulté le 4 avril 2022, <https://ilnousfautunplan.fr/le-plan/>.

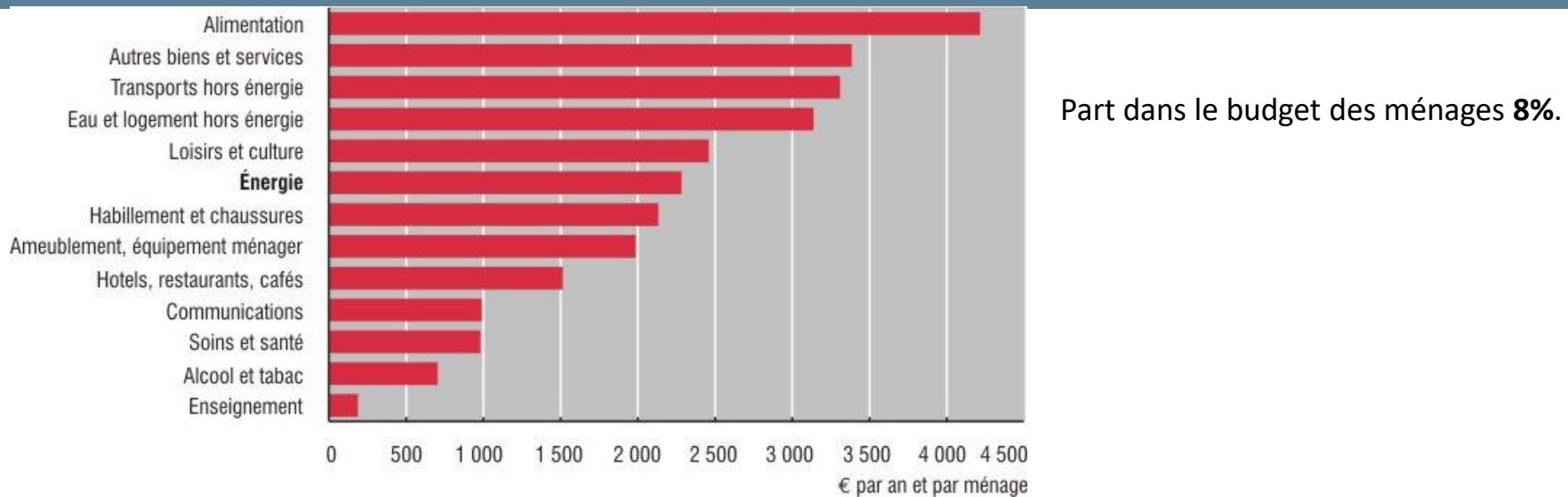


II) Définition de la notion d'énergie



Définition de la notion d'énergie

12



Les dépenses des ménages en 2006 par postes budgétaires

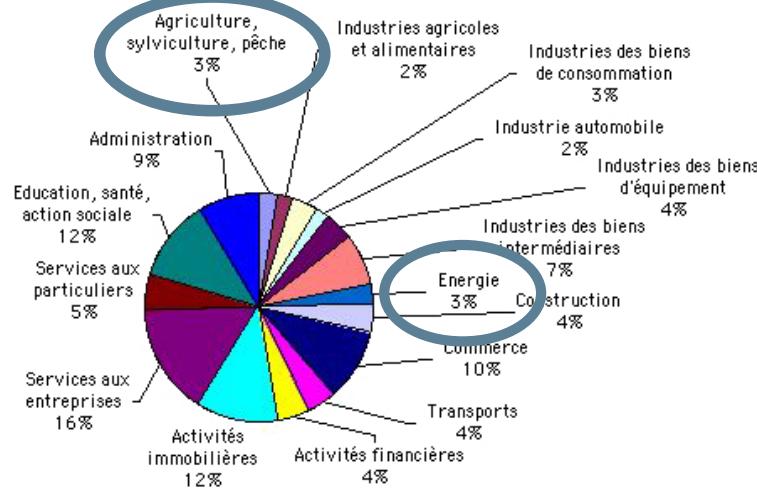
Pourquoi s'en soucier ?

« Les dépenses d'énergie des ménages depuis 20 ans : - Insee Première - 1315 »
<https://www.insee.fr/fr/statistiques/1281149>.



Energie et agriculture un sujet secondaire ?

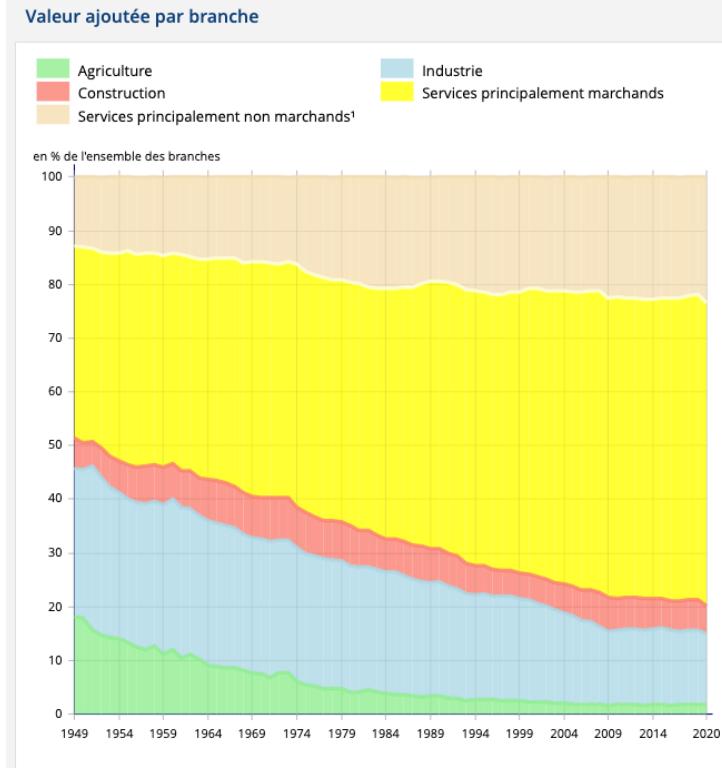
13



Part de chaque nature d'activité dans le PIB français en 2003.

Source INSEE/comptes de la Nation 2004

Pourquoi s'en soucier ?

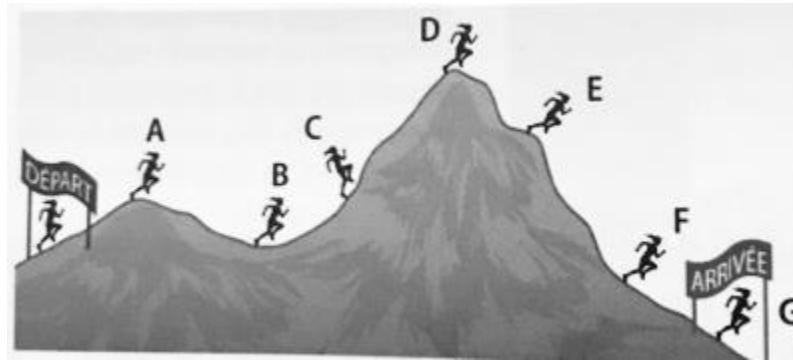


« Valeur ajoutée par branche de 1949 à 2020 | Insee ».

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/2830197>.



L'énergie c'est la quantification de la capacité d'un système à modifier un état.



Pas d'énergie pas de transport

Pas de bras pas de chocolat



Faut-il économiser de l'énergie ?



Coût de l'énergie: Ordre de grandeur

Aller Neustadt mühle - Riche de Dabo
à pied 250 m 625 m

375 m de dénivelé
1 homme : 80 kg

$$E_p = m g \Delta h$$

On considère juste l'énergie pour vaincre la gravité.

$$E_p = 80 \times 9,8 \times 375 \times \underbrace{(2,7 \times 10^{-7})}_{\text{conversion en kWh}}$$
$$= 0,08 \text{ kWh}$$

Si on le fait tout les jours,

$$0,08 \times 365 = 29,2 \text{ kWh}$$

Objectif déplacer un homme de Neustadt mühle à Dabo



Energie nécessaire pour un allé: 0.08kWh

Energie nécessaire pour un allé par jour pendant 1 an: 29.2kWh



Coût de l'énergie: Ordre de grandeur

Pouvoir calorifique
diesel 38 MJ/L
essence 35 MJ/L

Pour 1L de diesel on a donc

$$38 \times 10^6 \times 2,7 \times 10^{-7} = 10 \text{ kWh}$$

$$\frac{10}{0,08} = 125$$

On peut faire 125 fois
le monté de Dalo avec 1L

C'est pour donner un ordre de
grandeur

Energie nécessaire pour un allé: 0.08kWh

Energie nécessaire pour un allé par jour
pendant 1 an: 29.2kWh → 3L de diesel

car 1L → 10kWh

Autrement dit avec 1L vous avez autant
d'énergie que pour faire l'équivalent de
125 monté à pied.

« Le pétrole contient de l'énergie sous
une forme très dense »



Coût de l'énergie: Ordre de grandeur

Si on prend comme base 200€/kWh

On a un coût pour l'énergie renouvelable de l'homme de $0,08 \times 200 = \boxed{16 \text{ €}}$

Donc pour 2,5€/L, on a
d'où $0,25 \text{ €}/\text{kWh}$
 $0,08 \times 0,25 = \boxed{0,02 \text{ €}}$

$$\frac{0,02}{16} = \frac{1}{800}$$

↳ On a divisé le coût unitaire d'une transformation de l'environnement par 800

(en prenant 1,5€/L on est même à une division par 1300)

« Le pétrole contient de l'énergie sous une forme très dense »

Avec une base de 200€/kWh (SMIC)
→ 16€ pour faire l'allé à pied avec un homme

Avec une base 2,5€/L
→ 0.02€ pour faire l'allé à pied avec le diesel

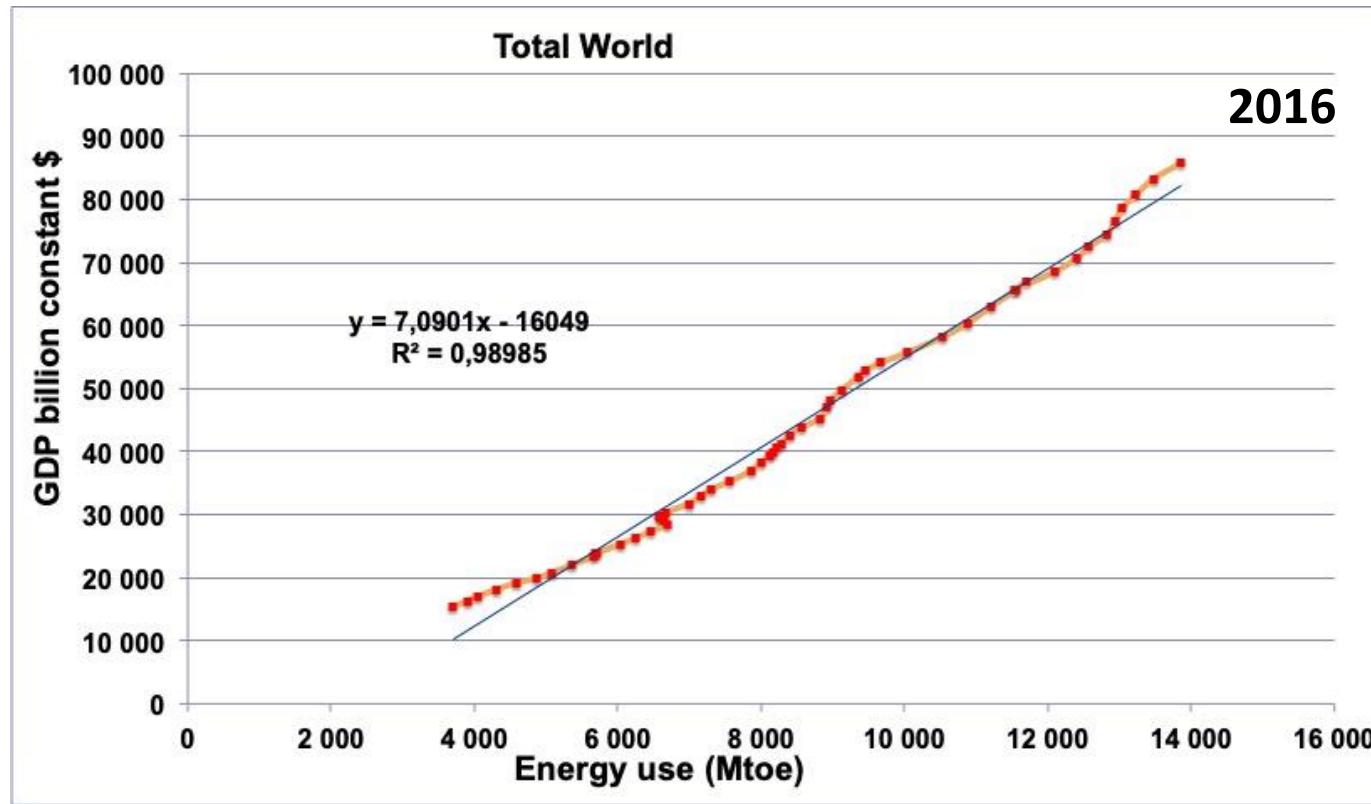
On a divisor le coût unitaire d'une transformation de l'environnement par 800

Ici j'ai considéré qu'on déplaçait une masse de 80kg, pour une voiture cela coûte plus cher (1T >> 80kg)



Relation PIB – Consommation d'énergie

19



- « Etude du lien entre PIB et consommation d'énergie », The Shift Project, consulté le 13 avril 2022, <https://theshiftproject.org/lien-pib-energie/>.

« Energies » → « Machines »



III) Problèmes limitant l'idée de la voiture individuelle



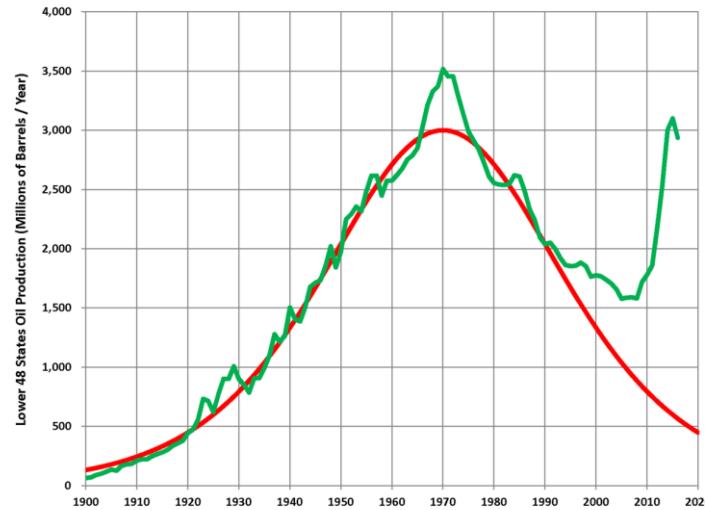
III) Problèmes limitant l'idée de la voiture individuelle

1) L'accès au pétrole

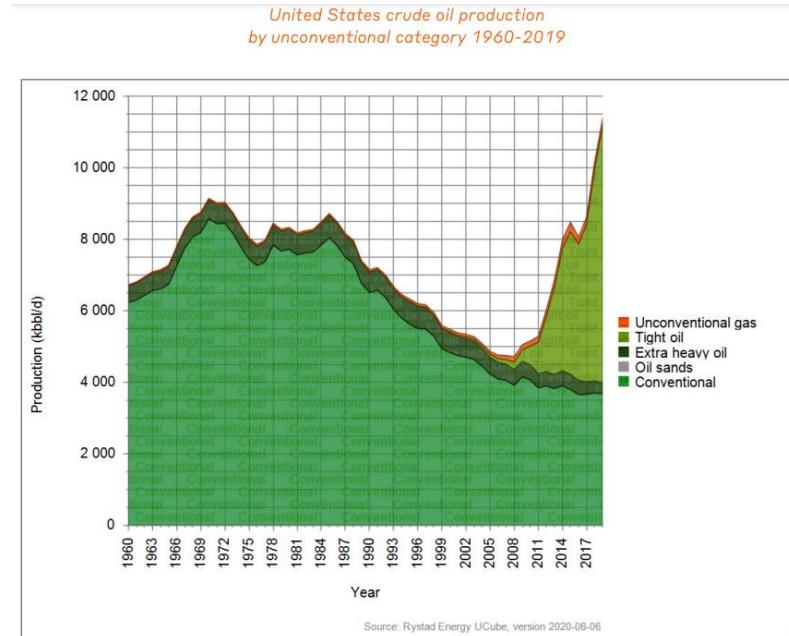


Problèmes limitant l'idée de la voiture individuelle: accès au pétrole

22



Pic du pétrole conventionnel franchi en 2008



Nature et ampleur du déclin de la production existante

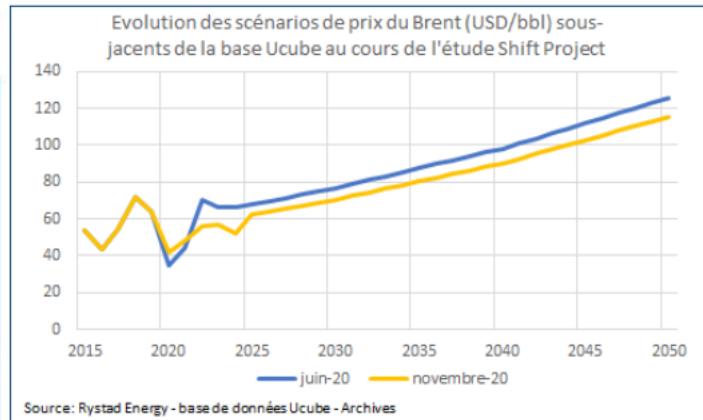
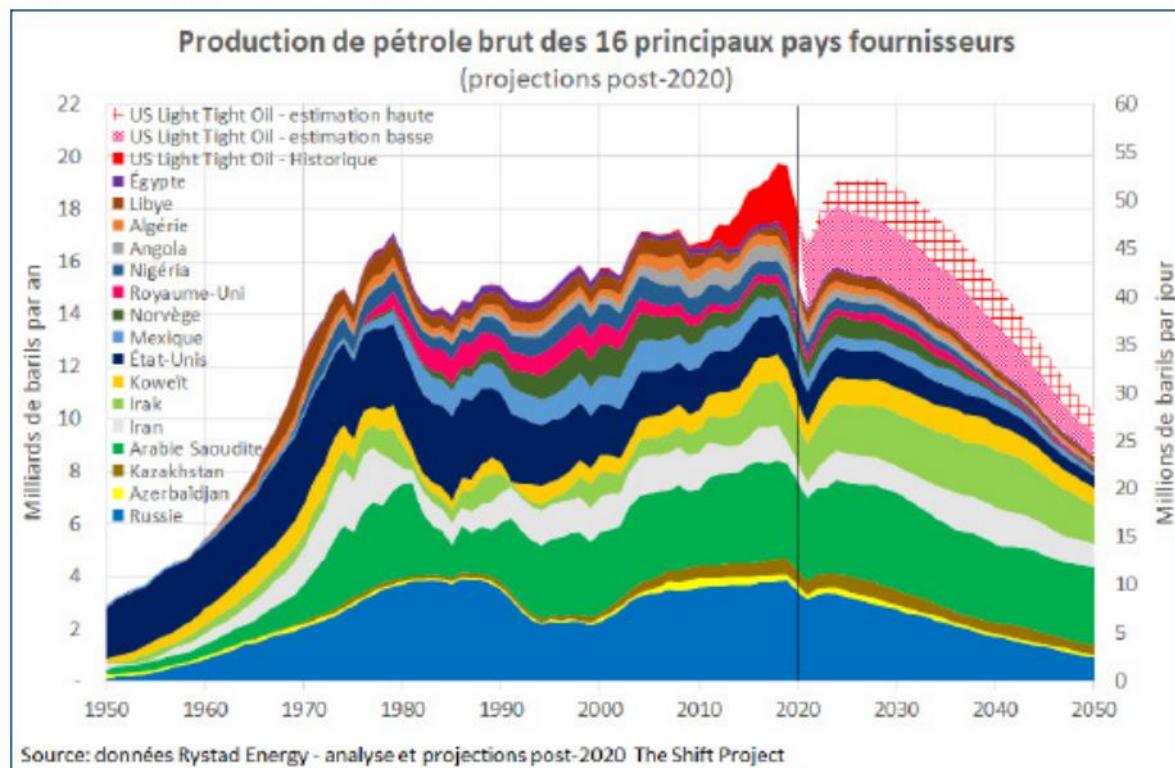
Rôle prépondérant du tight oil américain et des champs conventionnels géants du golfe Persique



Problèmes limitant l'idée de la voiture individuelle: accès au pétrole

23

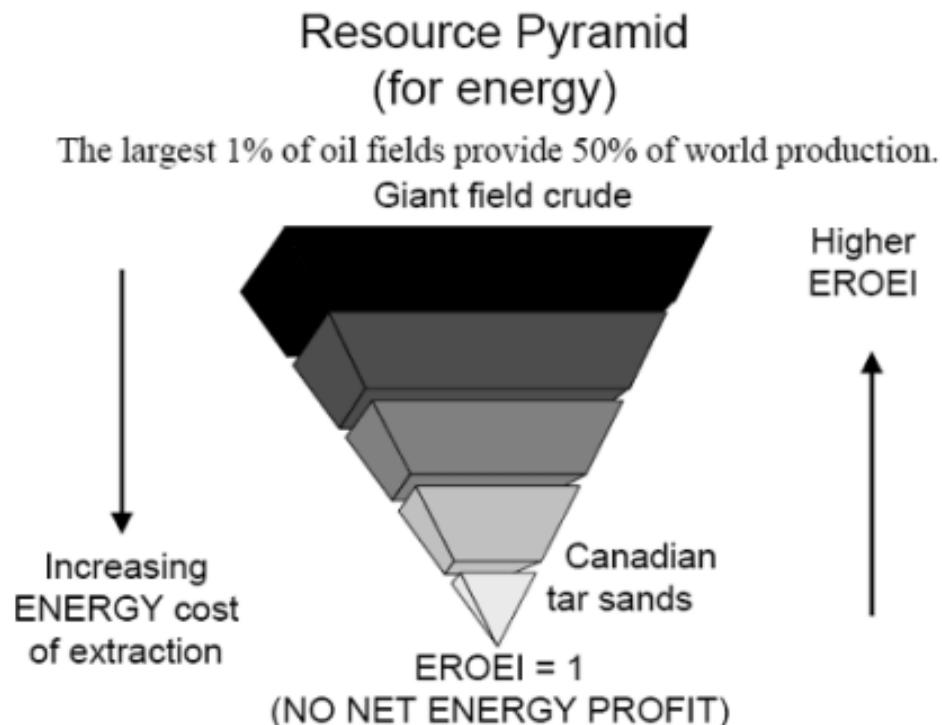
L'analyse des principaux facteurs d'incertitudes conduit à retenir deux estimations de trajectoire, haute et basse, reflétant un potentiel de croissance plus faible qu'au cours de la décennie 2010, puis un déclin attendu durant la décennie 2030.



The Shift Project. « Publication du nouveau rapport du Shift sur l'approvisionnement pétrolier », 27 mai 2021. <https://theshiftproject.org/article/nouveau-rapport-approvisionnement-petrolier-europe/>.



Problèmes limitant l'idée de la voiture individuelle: accès au pétrole

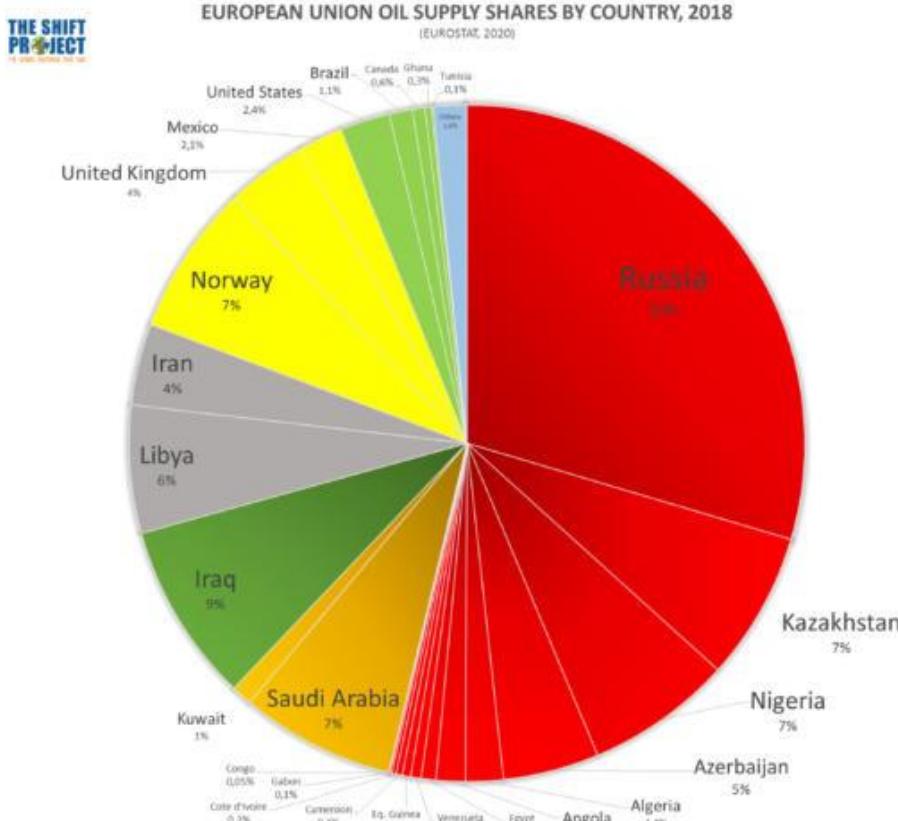


- Joni Karjalainen et al., « Energy models and scenarios in the era of climate change », *Finland: Finland Futures Research Centre, 2014.*

Figure 2.4. Resource pyramid for energy (Lardelli 2008).



Problèmes limitant l'idée de la voiture individuelle: accès au pétrole



- The Shift Project. « Possible déclin de l'approvisionnement en pétrole de l'UE d'ici 2030 – nouvelle étude du Shift Project », 23 juin 2020. <https://theshiftproject.org/article/ue-declin-approvisionnements-petrole-2030-etude/>.



III) Problèmes limitant l'idée de la voiture individuelle

2) Le climat



La météo



Pull ou T-Shirt

Le climat



Maison provençale ou Maison alsacienne



Problèmes limitant l'idée de la voiture individuelle: changement climatique

28

+5°C, juste un pull en moins ?

Occupation des sols il y a 20 000 ans



Source: Quaternary Environments Network

+5°C
En 20 000 ans

Occupation des sols actuellement



+5°C
En 200 ans

?

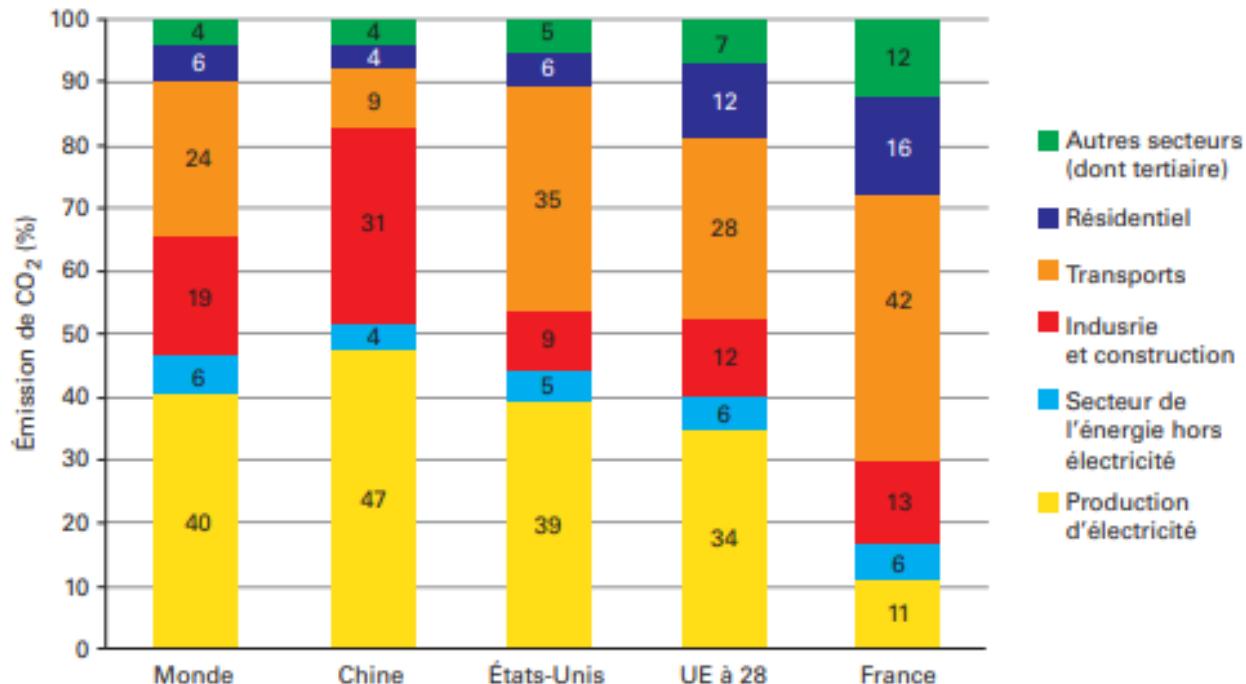


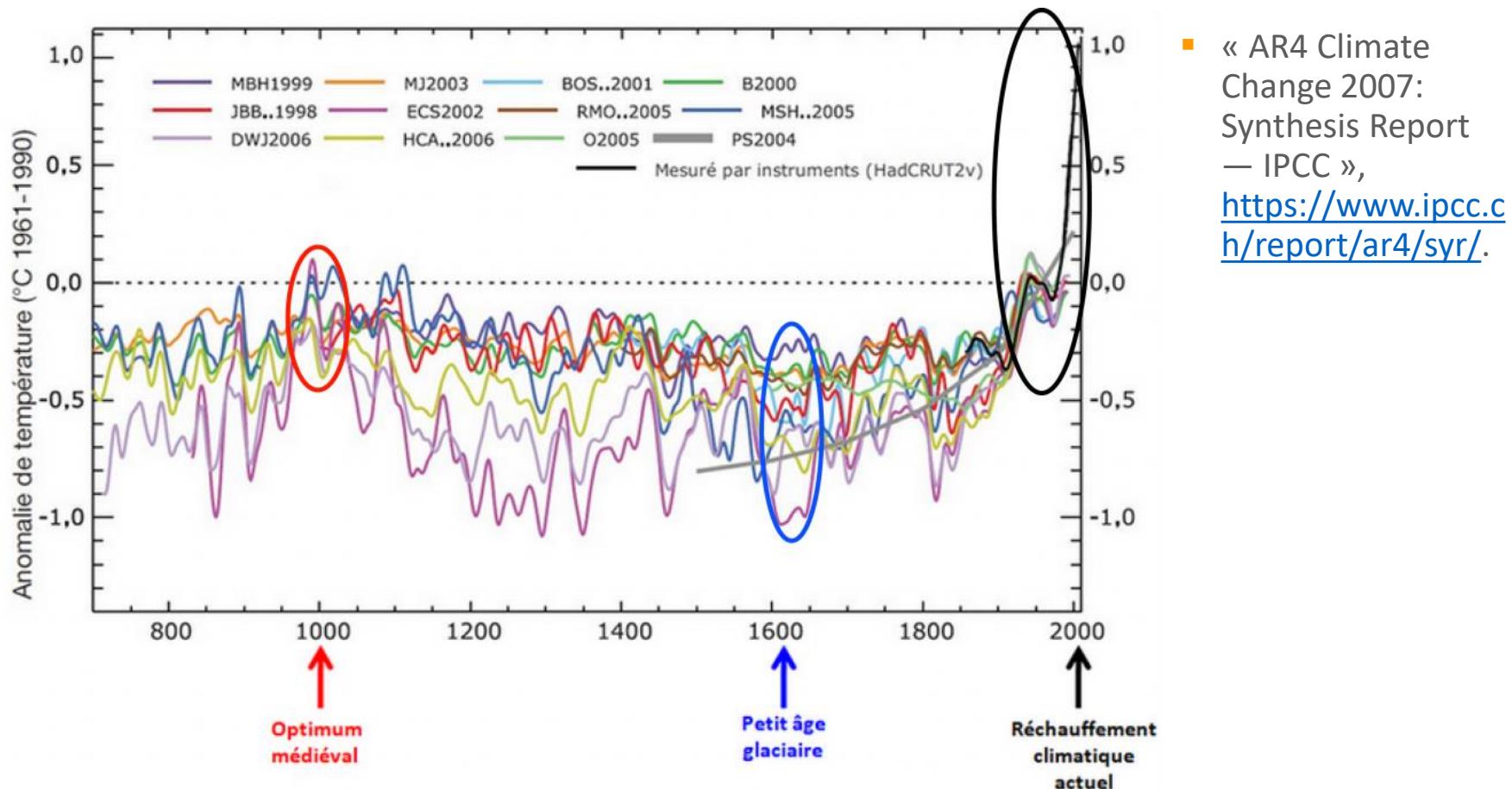
Figure 1 – Origine géographique des émissions de CO₂ en 2016 (doc. AIE, 2018)

- Thierry Alleau, « L'hydrogène, vecteur de la transition énergétique », *Ressources énergétiques et stockage*, août 2020, <https://doi.org/10.51257/a-v1-be8587>.



Problèmes limitant l'idée de la voiture individuelle: changement climatique

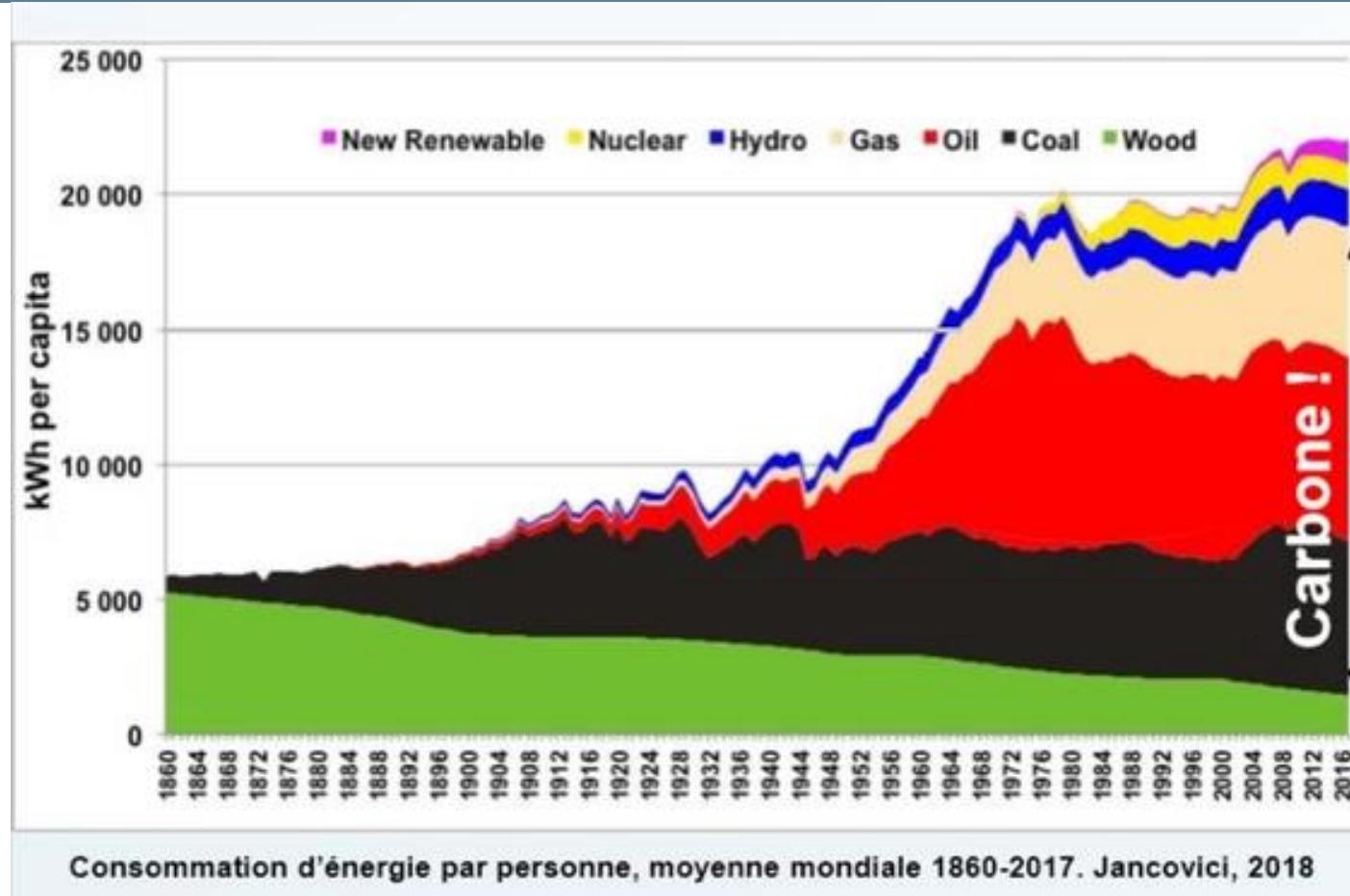
30





Problèmes limitant l'idée de la voiture individuelle : changement climatique

31



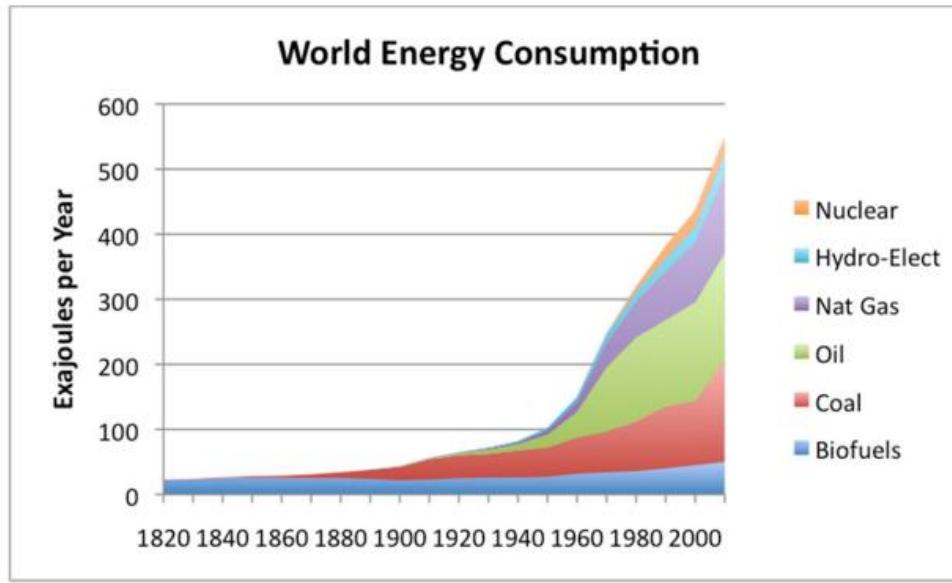


Figure 2.1. World energy consumption 1820-2010 (Tverberg 2012; based on Smil 2010 and BP Statistical Data since 1965).

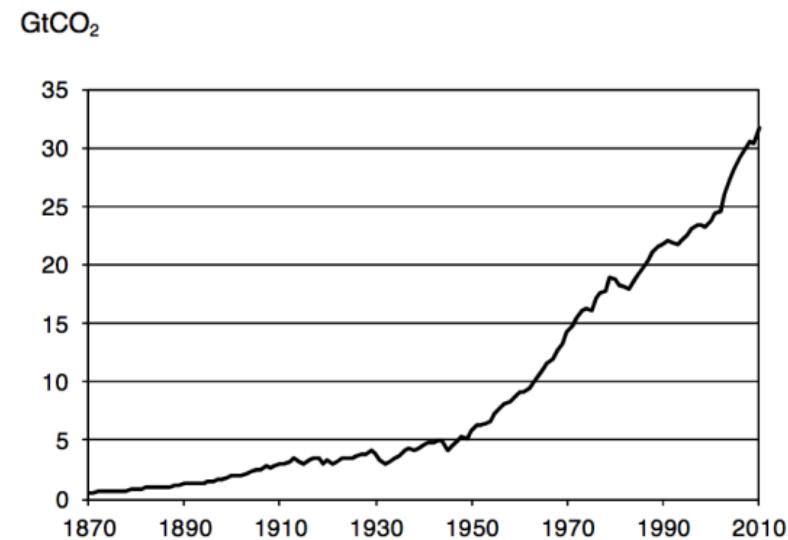


Figure 2.2. Trend of CO₂ emissions from fossil fuel combustion, 1870-2010 (IEA 2013a, 8) Source - CDIAC, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., US.

- Joni Karjalainen et al., « Energy models and scenarios in the era of climate change », *Finland: Finland Futures Research Centre*, 2014.



III) Problèmes limitant l'idée de la voiture individuelle

3) La santé



Problèmes limitant l'idée de la voiture individuelle : la santé

Les principaux polluants primaires d'origine automobile

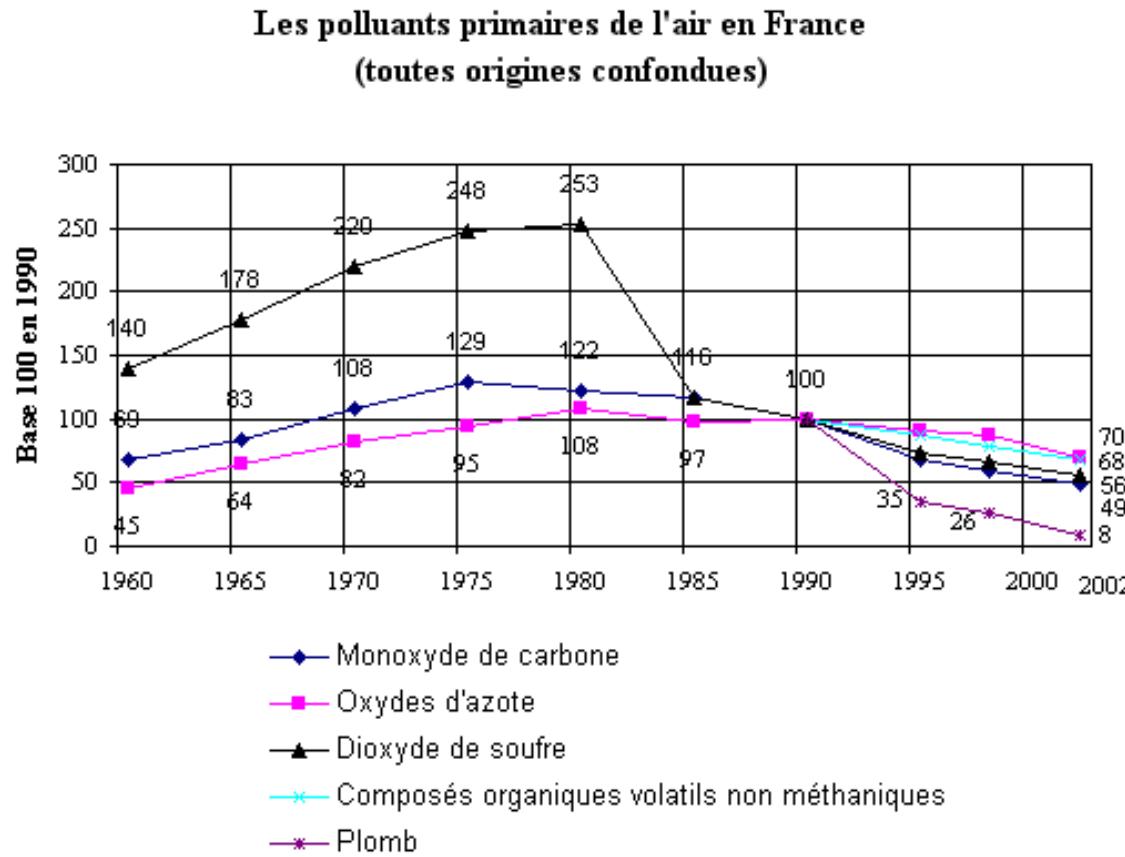
Nom	Symbole chimique ou acronyme	Origine	Dommages
Monoxyde de carbone	CO	Combustion incomplète des carburants	Troubles respiratoires et cardiovasculaires (réduction de la concentration d'oxygène fournie à l'organisme).
Oxydes d'azote	NO _x	Combustion de carburants	Dioxyde d'azote : troubles respiratoires, désagréments oculaires.
Particules fines (de taille inférieure à 10 Conseil général des Ponts et Chaussées)	PM 10	Véhicules (en particulier équipés d'un moteur diesel)	Troubles respiratoires et cardiovasculaires. Les personnes âgées, les enfants et les personnes souffrant de pathologies pulmonaires ou cardiovasculaires chroniques sont particulièrement sensibles aux particules. Des travaux ont montré qu'il existe des interactions entre particules d'origine diesel (PD) et pneumallergènes.
Composés organiques volatils (dont les hydrocarbures)	COV (hydrocarbures : HC)	Evaporation de l'essence et combustion incomplète	Certains sont nocifs (le benzène serait cancérogène)
Dioxyde de soufre	SO ₂	Combustion de carburants soufrés	Troubles respiratoires et cardiovasculaires Pluies acides (acide sulfurique, H ₂ SO ₄)

< 10 µm = 7 fois plus petit que le diamètre d'un cheveux

- « Les nuisances environnementales de l'automobile », 2001
<https://www.senat.fr/rap/r01-113/r01-1132.html>.



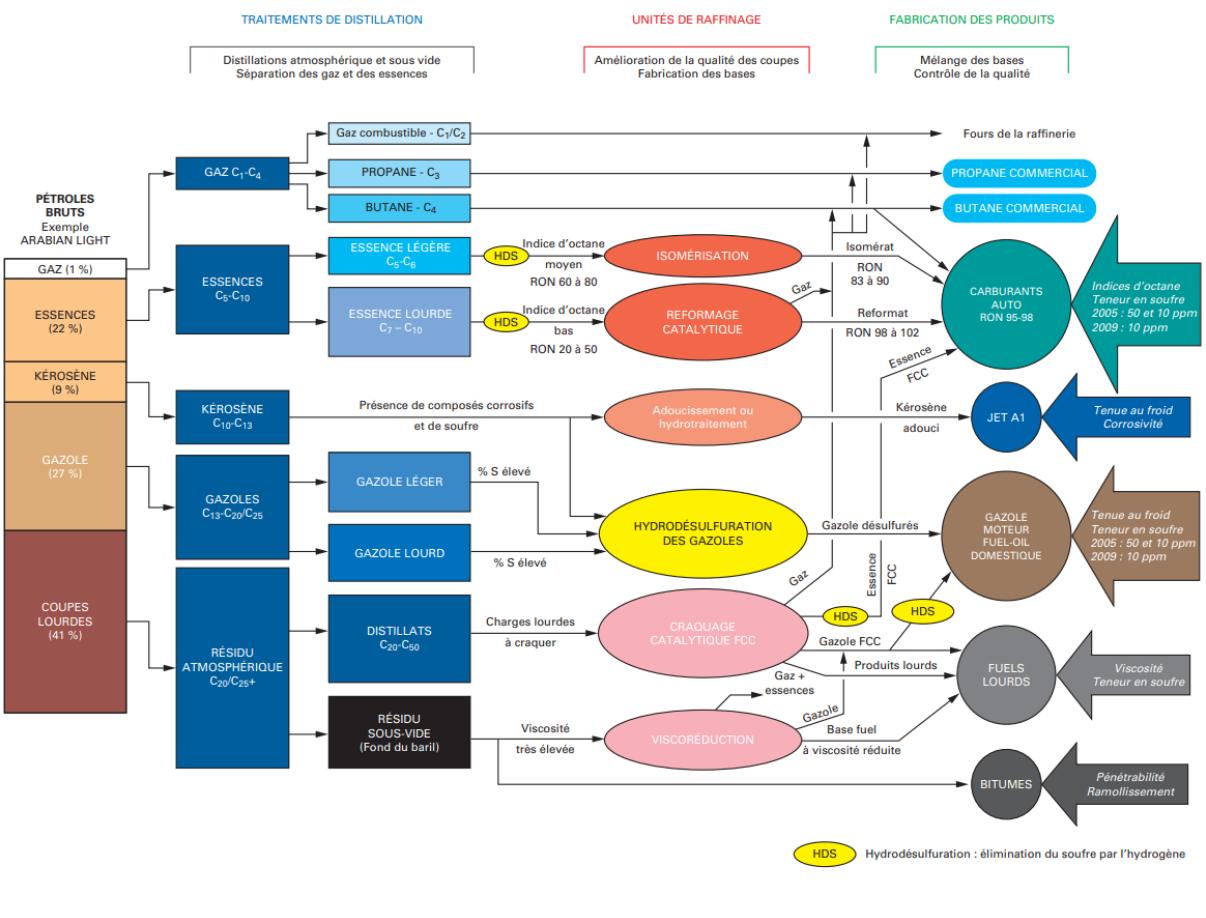
Problèmes limitant l'idée de la voiture individuelle : la santé



- « Les nuisances environnementales de l'automobile », 2001
<https://www.senat.fr/rap/r01-113/r01-1132.html>.



Diesel ou essence ? Du pareil au même ?



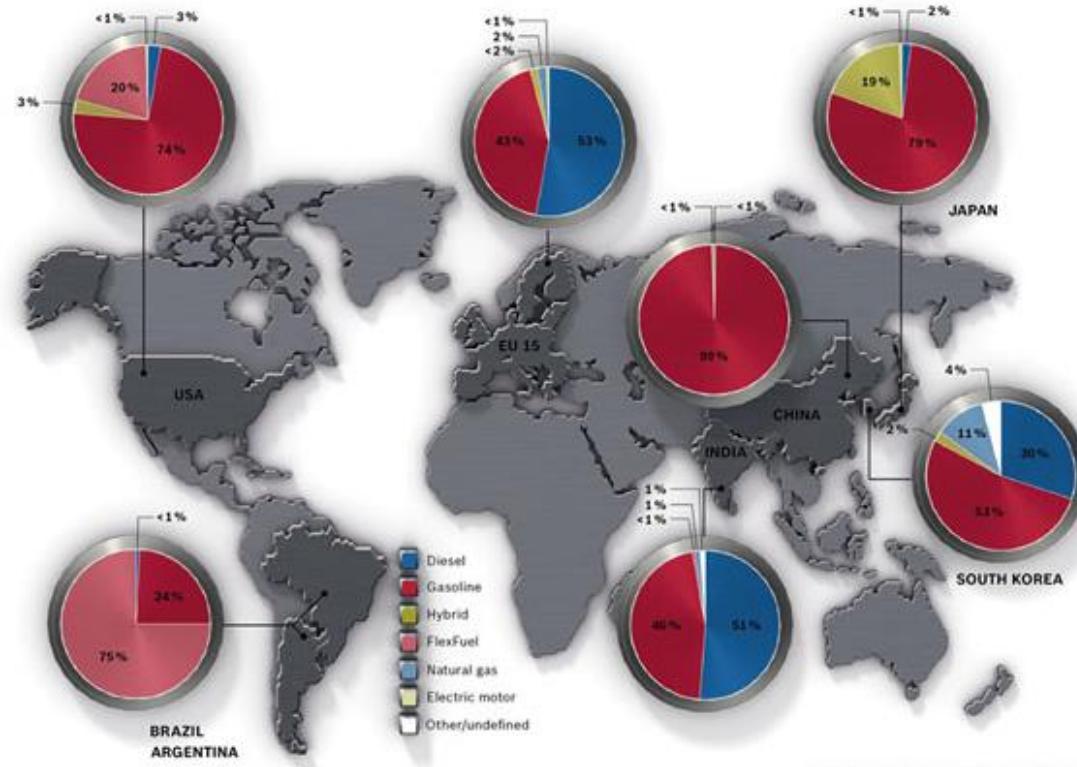
- « Pétrole », Techniques de l'Ingénieur, consulté le 13 avril 2022, <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/42215210-combustibles-fossiles/download/be8520/petrole.html>.

Figure 8 – Schéma simplifié de raffinage (doc. IFP-Training)

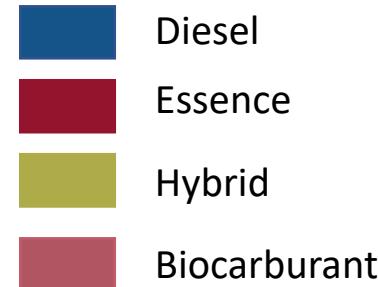


Diesel ou essence ? Du pareil au même ?

37



Source for graphics: Bosch; Graphic: KircherBurkhardt



Passenger cars by fuel type, 2017 (%)



Note: Data for Bulgaria, Greece, Netherlands and Slovakia are not available.

(*) 2015 data instead of 2017.

(†) Great Britain only.

(‡) 2016 data instead of 2017.

Source: Eurostat (online data code: road_eqs_carpa)

eurostat

- « Bosch: World Map of Automotive Powertrains - How People Drive in Europe, the Americas, and Asia », *Automotive World* (blog), 7 novembre 2014, <https://www.automotiveworld.com/news-releases/world-map-automotive-powertrains-people-drive-europe-americas-asia/>.



Diesel : avantage d'un point de vue de la taxation et des normes environnementales

Diesel

Taxé à 141%

Norme	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5a	Euro 5b	Euro 6b	Euro 6c	Euro 6d -TEMP	Euro 6d
Oxydes d'azote (NO _x)	-	-	500	250	180	180	80	80	80	80
Monoxyde de carbone (CO)	2 720	1 000	640	500	500	500	500	500	500	500
Hydrocarbures (HC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hydrocarbures non méthaniques (HCNM)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HC + NO _x	970	700	560	300	230	230	170	170	170	170
Particules (PM)	140	80	50	25	5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Particules (PN) (nb/km)	-	-	-	-	6×10^{11}					

Valeurs, sauf PN, exprimées en mg/km.

Essence

Taxé à 164%



Norme	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5 ¹⁵	Euro 6b ¹⁶	Euro 6c	Euro 6d -TEMP	Euro 6d
Oxydes d'azote (NO _x)	-	-	150	80	60	60	60	60	60
Monoxyde de carbone (CO)	2 720	2 200	2 200	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
Hydrocarbures (HC)	-	-	200	100	100	100	100	100	100
Hydrocarbures non méthaniques (HCNM)	-	-	-	-	68	68	68	68	68
HC + NO _x	970	500	-	-	-	-	-	-	-
Particules (PM)	-	-	-	-	-	5^{*1}	5^{*1}	4,5	4,5
Particules (PN) (nb/km)	-	-	-	-	-	$6 \times 10^{12^{*2}}$	6×10^{11}	6×10^{11}	6×10^{11}

Valeurs, sauf PN, exprimées en mg/km.



Diesel : moins d'émission directe de CO₂, mais il y a production de suie (effet de serre)

Particule PM2,5 sont dangereuses et définir des seuils sur leur masses total est inutile

Production de NOx plus grande que l'essence: trouble respiratoire

- Laurent Castagnède, *Airvore ou la face obscure des transports*, écosociété, s. d.

Reporterre
le quotidien de l'écologie

Tous les Franciliens sont exposés

La concentration excessive de particules fines PM2,5 est celle qui a le plus d'impact sur la santé. Émis par le chauffage urbain et le trafic routier, ce polluant a causé la mort de 6 220 personnes en 2019, selon l'étude. Quant au dioxyde d'azote (NO₂), émis par les véhicules diesel, 3 680 personnes sont décédées après une exposition prolongée. ① Pour la première fois, les scientifiques ont également évalué le nombre de morts liés à l'ozone (O₃), un polluant secondaire émis principalement l'été sous l'effet du rayonnement solaire : ils sont de l'ordre de 1 700.

- Reporterre, « Île-de France : 1 décès sur 10 causé par la pollution de l'air », Reporterre, le quotidien de l'écologie, consulté le 13 avril 2022, <https://reporterre.net/Ile-de-France-un-deces-sur-dix-cause-par-la-pollution-de-l-air>.



Confinement

- 2 300 décès évités en lien avec une diminution de l'exposition aux particules, dont les sources sont multiples et qui représentent la pollution de fond,
- 1 200 décès évités en lien avec une diminution de l'exposition au dioxyde d'azote (NO₂), liée principalement au trafic routier.

En temps normal

- 40 000 décès par an et près de 8 mois d'espérance de vie perdus en lien avec l'exposition aux particules fines

- « Pollution de l'air ambiant : nouvelles estimations de son impact sur la santé des Français », publié le 14 avril 2021, Santé public France,
<https://www.santepubliquefrance.fr/presse/2021/pollution-de-l-air-ambiant-nouvelles-estimations-de-son-impact-sur-la-sante-des-francais.>



40 000 décès par an et près de 8 mois d'espérance de vie perdus en lien avec l'exposition aux particules fines

Afin d'actualiser les **estimations publiées en 2016** qui portaient sur la période 2007-2008, Santé publique France a réévalué le fardeau que représente la pollution atmosphérique sur la mortalité annuelle en France métropolitaine pour la période 2016-2019.

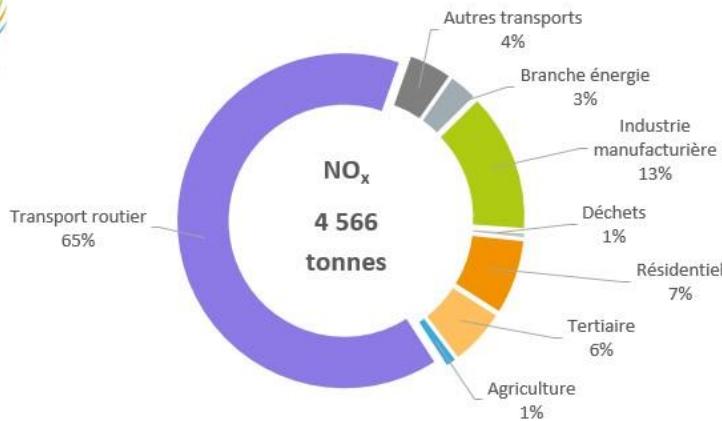
Il ressort de cette réévaluation que **chaque année près de 40 000 décès seraient attribuables à une exposition des personnes âgées de 30 ans et plus aux particules fines (PM_{2,5})**. Ainsi l'exposition à la pollution de l'air ambiant représente en moyenne pour les personnes âgées de 30 ans et plus une perte d'espérance de vie de près de 8 mois pour les PM_{2,5}.

La pollution de l'air ambiant demeure ainsi un facteur de risque pour la santé en France bien que l'EQIS 2016-2019 suggère une tendance à la baisse de la mortalité en lien avec la pollution de l'air ambiant (7% de la mortalité totale de la population française attribuable à une exposition aux PM_{2,5} versus 9 % sur la période 2007-2008).

- « Pollution de l'air ambiant : nouvelles estimations de son impact sur la santé des Français », publié le 14 avril 2021, Santé public France, <https://www.santepubliquefrance.fr/presse/2021/pollution-de-l-air-ambiant-nouvelles-estimations-de-son-impact-sur-la-sante-des-francais.>



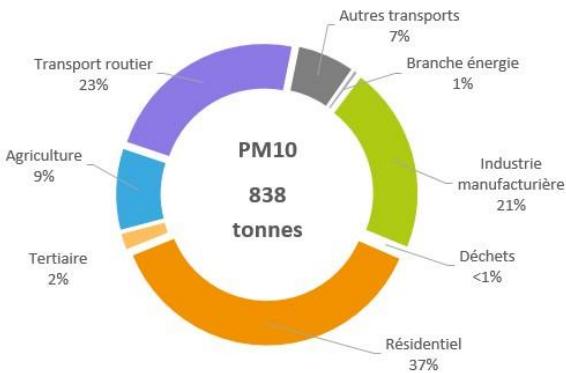
Problèmes limitant l'idée de la voiture individuelle : la santé



Eurométropole Strasbourg

Répartition des émissions de NO_x par secteur d'activité en 2014 - source Atmo Grand Est, Invent'Air V2016

- « La qualité de l'air dans l'Eurométropole de Strasbourg », consulté le 14 avril 2022,
<https://www.strasbourg.eu/qualite-air-eurometropole-strasbourg>.



Eurométropole Strasbourg

Répartition des émissions de PM10 par secteur d'activité en 2014 - source Atmo Grand Est, Invent'Air V2016



Eurométropole Strasbourg

Répartition des émissions de PM2.5 par secteur d'activité en 2014 - source Atmo Grand Est, Invent'Air V2016



1. Problème d'approvisionnement en pétrole
2. Problème climatique
3. Problème de santé



IV) Solutions possibles en admettant les contraintes précédentes



Revoir ses exigences de confort à la baisse

- Réduction de la vitesse maximale d'une voiture à 130 km/h
 - Moteur moins puissant → moins de consommation, et poids plus léger, moins cher
 - Carrosserie plus légère, moins couteuse en matériaux
- Réduction de la taille des véhicules
 - Masse de la voiture réduite → consommation d'énergie moindre
On est passé de une 4 CV de 456kg → à une voiture de moyenne 1250kg
- Accepter moins de confort : est-ce nécessaire d'avoir des sièges chauffant ?

On a fait des progrès sur la consommation de carburant

En réalité la 2CV consommait de 5 à 6L/100km à une voiture française actuelle moyenne de 6 à 7L/100km

→ Le défaut de nos voitures c'est bien leur masse.



Rétention de technologie: un exemple

- Moteurs à compression variable (<https://www.youtube.com/watch?v=YJXu2GJTYZQ>)



Partenariat avec PSA

75 millions d'euros d'investissement

But: augmentation du rendement → diminution de la consommation en carburant

Permet également de se passer du turbo-compresseur

Aurait pu être industrialisé depuis longtemps: rétention de technologie pour pouvoir s'adapter au nouvelle norme facilement



Voiture électrique: d'où provient l'énergie primaire

How Green is Your Electric Vehicle? Check The Fuel Source

Cleaner power grids mean cleaner electric cars

- Coal-fired
- Oil-fired
- Gas-fired
- Renewables
- Nuclear



China



Germany



Japan



U.S.



Netherlands



U.K.



France



Norway

Note: Renewables include geothermal, solar, wind, biomass and waste, large and small hydro sources
Source: Bloomberg New Energy Finance



Voiture électrique: bilan carbone dans le monde

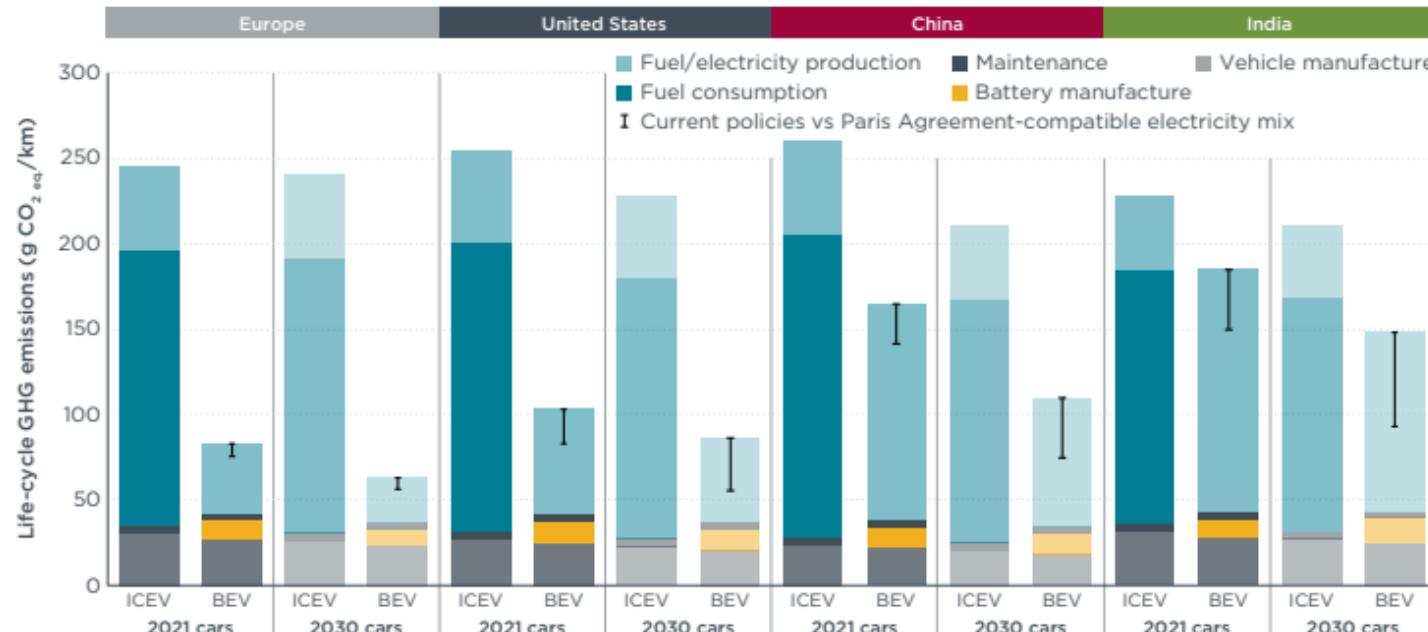


Figure ES.1. Life-cycle GHG emissions of average medium-size gasoline internal combustion engine (ICEVs) and battery electric vehicles (BEVs) registered in Europe, the United States, China, and India in 2021 and projected to be registered in 2030. The error bars indicate the difference between the development of the electricity mix according to stated policies (the higher values) and what is required to align with the Paris Agreement.

■ « A Global Comparison of the Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions of Combustion Engine and Electric Passenger Cars », *International Council on Clean Transportation* <https://theicct.org/publication/a-global-comparison-of-the-life-cycle-greenhouse-gas-emissions-of-combustion-engine-and-electric-passenger-cars/>.



Voiture électrique: bilan carbone en Europe pour une voiture moyenne

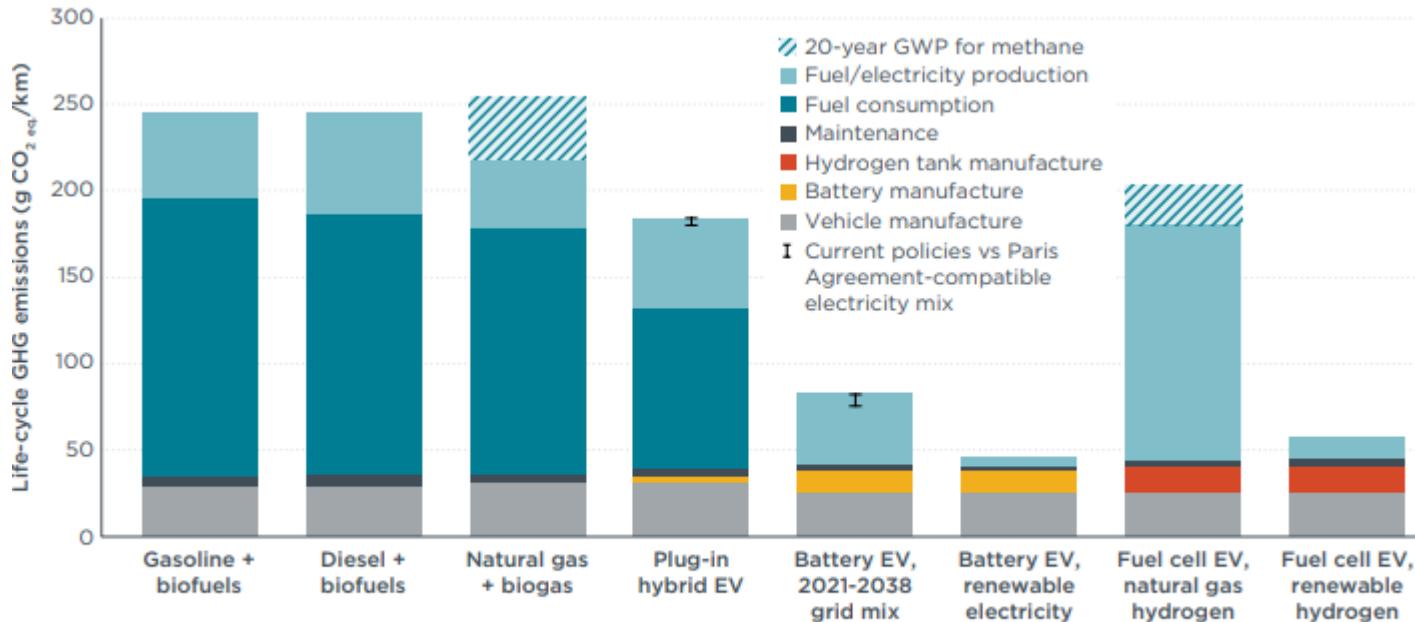
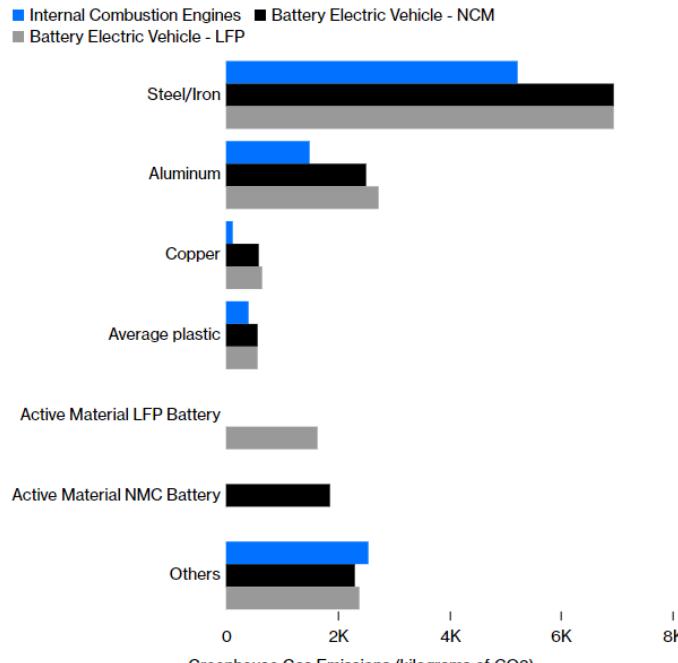


Figure 3.2. Life-cycle GHG emissions of lower medium segment gasoline, diesel, and CNG ICEVs, PHEVs, BEVs, and FCEVs registered in Europe in 2021.

■ « A Global Comparison of the Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions of Combustion Engine and Electric Passenger Cars », *International Council on Clean Transportation* <https://theicct.org/publication/a-global-comparison-of-the-life-cycle-greenhouse-gas-emissions-of-combustion-engine-and-electric-passenger-cars/>.



Voiture électrique: fabrication



Greenpeace East Asia

Note: Cradle-to-gate greenhouse gas emissions breakdown by material

- « The Electric Vehicle Supply Chain Has a Dirty Secret », Bloomberg.Com, 3 novembre 2021, <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2021-11-03/cop26-evs-aren-t-as-green-as-you-think-the-supply-chain-is-carbon-intensive>.

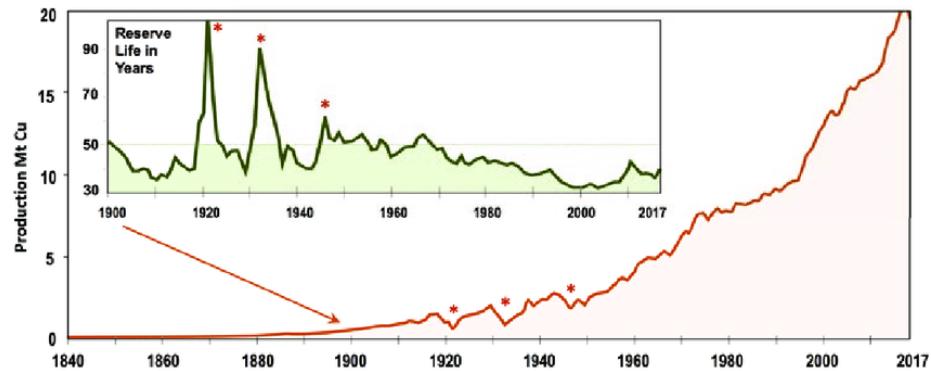


Problème de matière première : exemple du cuivre

Réserve: difficile à estimer mais on aurait au moins entre 30 et 50 années de production



Production:



« Les tensions sur le cuivre viennent du fait que **la demande augmente encore plus rapidement que la production**. Il est clair que nous ne pourrons pas tout faire en même temps : produits électriques traditionnels, moteurs de voitures électriques, bobines d'induction pour éoliennes... »

- Philippe Gauthier, « Le cuivre, loin de l'épuisement », *Énergie et environnement* (blog), 27 mars 2022, <https://energieetenvironnement.com/2022/03/27/le-cuivre-loin-de-lepuisement/>.

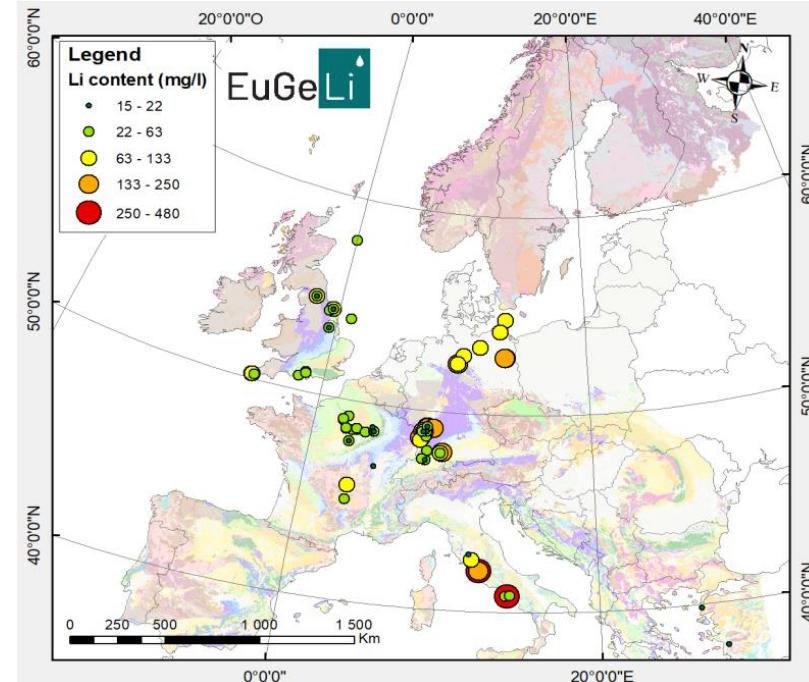


Problème de matière première : exemple du lithium

Réserve: *L'Association française des professionnels de la géothermie évalue aujourd'hui la coproduction possible de lithium en Alsace à 15 000 tonnes par an.*



Production:
Pas avant 20 ans !



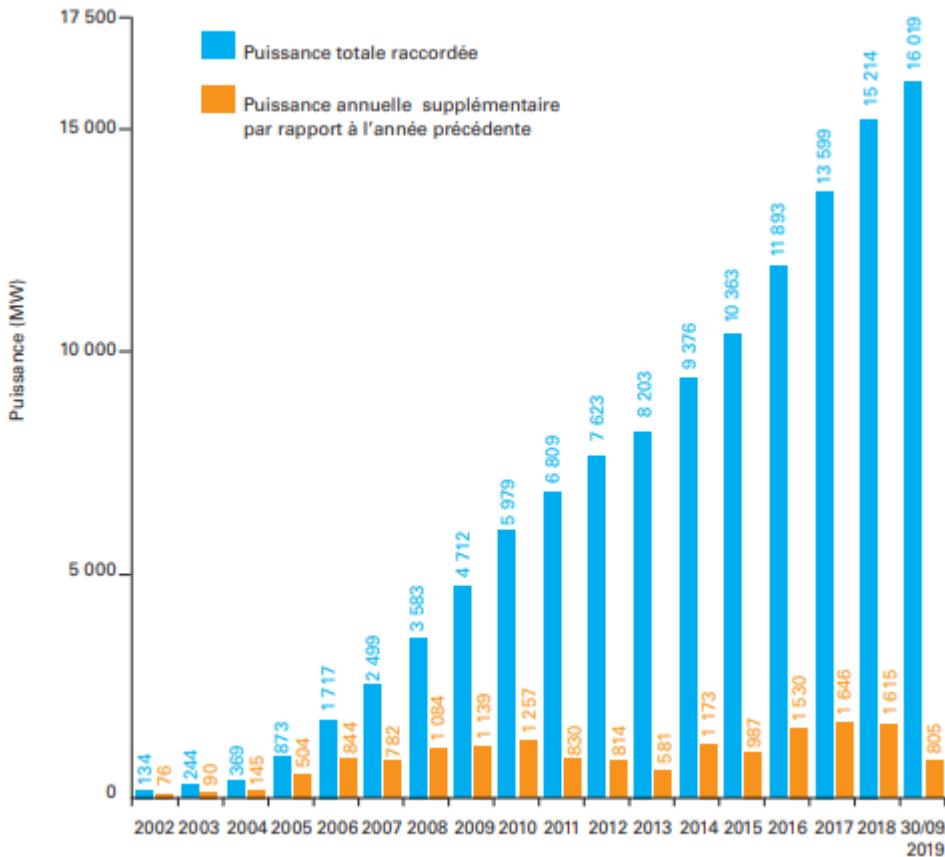
- « L'exploitation de nos ressources en lithium, une opportunité industrielle majeure pour la France | Connaissances des énergies », 29 juin 2021, <https://www.connaissancesdesenergies.org/tribune-actualite-energies/lexploitation-de-nos-ressources-en-lithium-une-opportunit%C3%A9-industrielle-majeure-pour-la-france>.
- Bernard Sanjuan Sanjuan, Blandine Gourcerol, et Romain Millot, « Les saumures géothermales : une nouvelle ressource en lithium ? », *Géochronique*, Sur la route du Lithium, n°156 (décembre 2020): 7 pages.



Problème de matériaux:
Non pas la rareté mais l'accessibilité



Evolution de la puissance éolienne raccordée en France



- Thierry Alleau, « L'hydrogène, vecteur de la transition énergétique », *Ressources énergétiques et stockage*, août 2020, <https://doi.org/10.5125/a-v1-be8587>.



Combien de centrale nucléaire en plus pour des voitures électriques ?

55

Ordre de grandeur

10 000 km/an pour les trajets quotidiens
83% en voiture : 8300 km/an en voiture

5L/100 km \Rightarrow 415L par an par français

1L de carburant : 38 MJ

$$415 \times 38 = 15770 \text{ MJ/an/français}$$

Pour 60 millions de personnes :

$$3,6 \times 10^{11} \text{ MJ par an de consommation}$$

On un réacteur 900 MW :

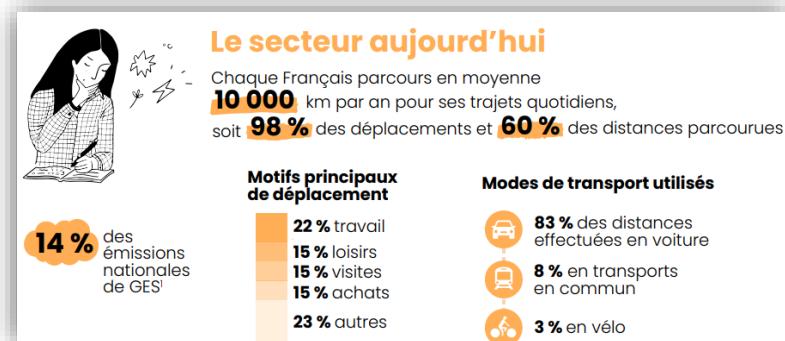
$$2,16 \times 10^{10} \text{ MJ de production par an}$$

Alors

44 réacteurs (900 MW) !

On a actuellement 56 réacteurs en France

- Même si on divise par 2 le nombre de voiture, on a tout de même besoin de 20 réacteurs 900 MW





Voiture électrique : Smart Grid ?

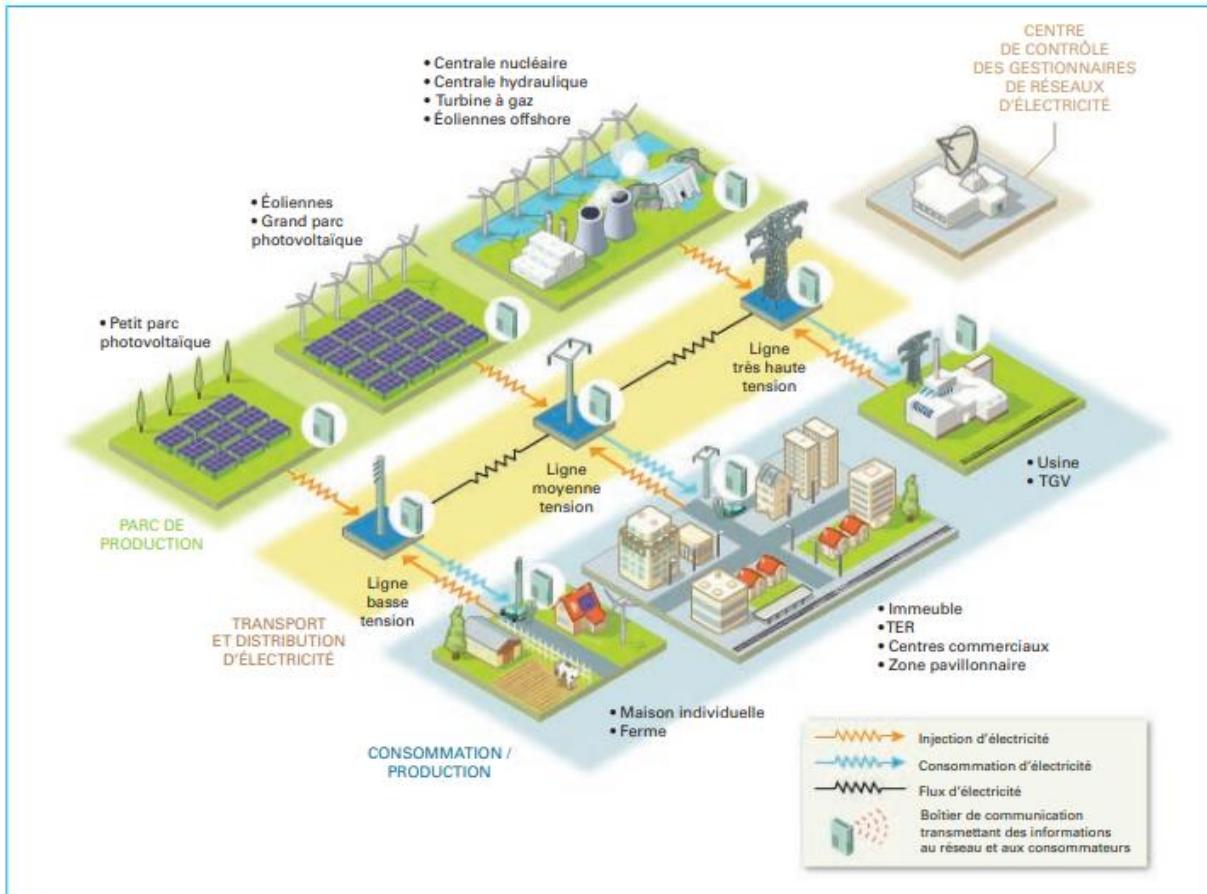


Figure 2 – Vision CRE du réseau électrique intelligent

- Alain Doulet et Jean-Paul Horson, « Smart Grids : contexte, acteurs et enjeux », *Réseaux électriques et applications*, juillet 2019,
<https://doi.org/10.51257/a-v1-d4963>.



Voiture à hydrogène ?

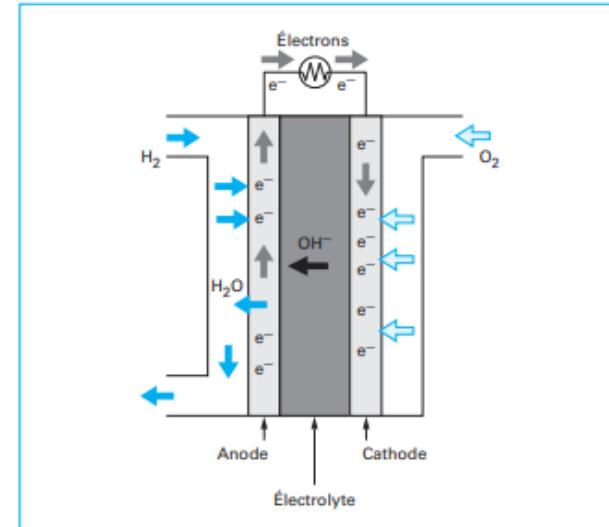
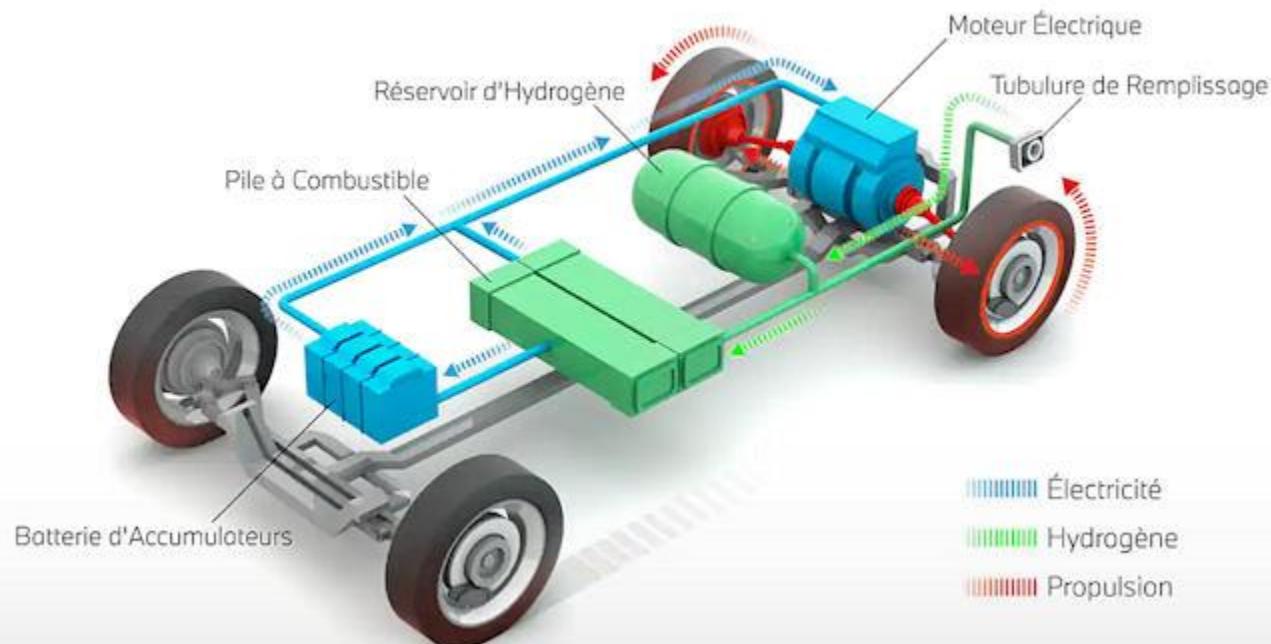


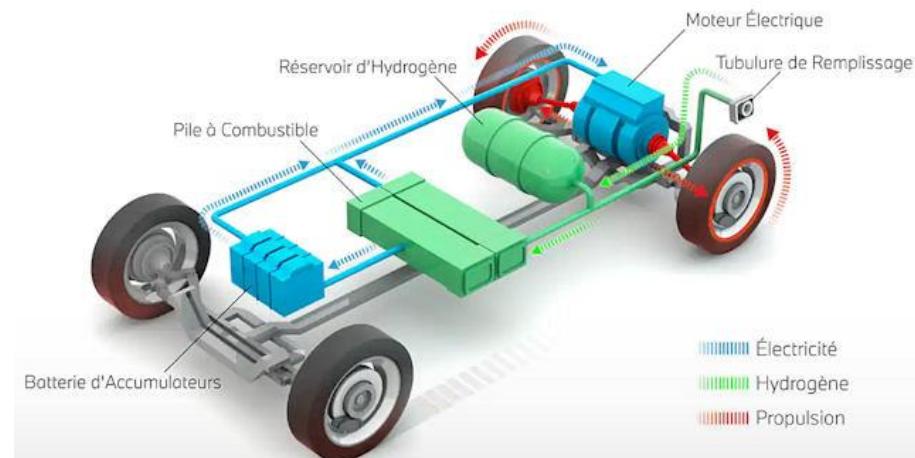
Figure 1 – Principe de fonctionnement d'une pile à combustible [5] [6] [7] [8]

- Farida Darkrim-Lamari et Pierre Malbrunot, « Combustible hydrogène - Utilisation », *Chimie verte*, octobre 2013, <https://doi.org/10.51257/a-v2-be8566>.



Voiture à hydrogène ?

- Avantage : **extension de l'autonomie** par rapport à une voiture 100% électrique
- On a tout de même besoin de **batterie électrique**, et **de moteur électrique**
→ tension sur les matières première
- Problème lié à la **production de H₂**, à la **distribution de H₂**
- Problème lié au **stockage de H₂** (réservoir en matériaux composites non renouvelable)
- **Pile à combustible complexe à fabriquer et à recycler, et fragile**





Un « Continuum d'énergie » ?

TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Solutions et challenges technologiques ?



14ÈME JOURNÉE RECHERCHE
À POLYTECH LILLE
JEUDI 17 MARS 2022

En partenariat avec le groupe de recherche
« COMASYS, Continuum de l'énergie » de l'Université de Lille



Fin de la voiture individuelle telle que nous la connaissons ?

60

- Problème d'approvisionnement en pétrole
- Difficulté d'approvisionnement en matériaux
- Réseau électrique à moderniser
- Problème d'acceptation



V) La fin du messianisme technologique ?



« Le retour aux communs »

62

Quel est le rapport entre ces deux éléments ?

The image shows a promotional graphic for Bouygues Construction. At the top is a large orange circle containing the company's logo, "BOUYGUES CONSTRUCTION". Below it is a white rectangular box with the text "Un bâtiment + mutualisé". Inside this box is a photograph of a modern office common area where several people are working at long wooden tables under large, modern pendant lights. To the right of the photo is a green text box containing the following text:
L'approche Officity Value vous donne la possibilité de gérer des revenus complémentaires dans les immeubles de bureaux, en intensifiant l'usage des espaces communs et en proposant des services innovants.
A small green circular icon with a plus sign and a gear symbol is positioned at the bottom right.



Four banal



2022-2027 : les leviers pour décarboner



Regrouper les lieux d'habitat, d'achat et d'activité sur les surfaces déjà urbanisées



Renforcer la qualité de la desserte en transports en commun et étendre les réseaux



Sécuriser la pratique de la marche, du vélo et des autres cycles légers



Simplifier l'enchaînement des modes de transport de longue distance et des modes de proximité



Faciliter l'usage des vélos à assistance électrique et des véhicules de petite taille



Favoriser par le système réglementaire et fiscal les pratiques alternatives à la voiture en solo

Ce ne sont pas des solutions technologiques.

Retour au commun, fin du modèle pavillonnaire et de l'extension de la ville en campagne



Dans le Plan de transformation de l'économie Française:

1. Déconstruire le « système voiture »
 1. Développer un urbanisme qui réduit les distances de déplacement
 2. Mettre en place une fiscalité cohérente et incitative à l'utilisation de modes alternatifs à la voiture solo
 3. Rendre moins **attractive** l'utilisation de la voiture en solo
2. Développer un système de modes actifs et partagés
3. Susciter et accompagner le **changement de comportement**
4. La nécessité d'évaluer les politiques mises en œuvre

« Le Plan », Plan de transformation de l'économie Française, *The Shift Project*, consulté le 4 avril 2022, <https://ilnousfautunplan.fr/le-plan/>.

Plan incliné

44 m de dénivelé

300 T de fret (elle pèse 30T)

Énergie dissipée "selon l'axe vertical"

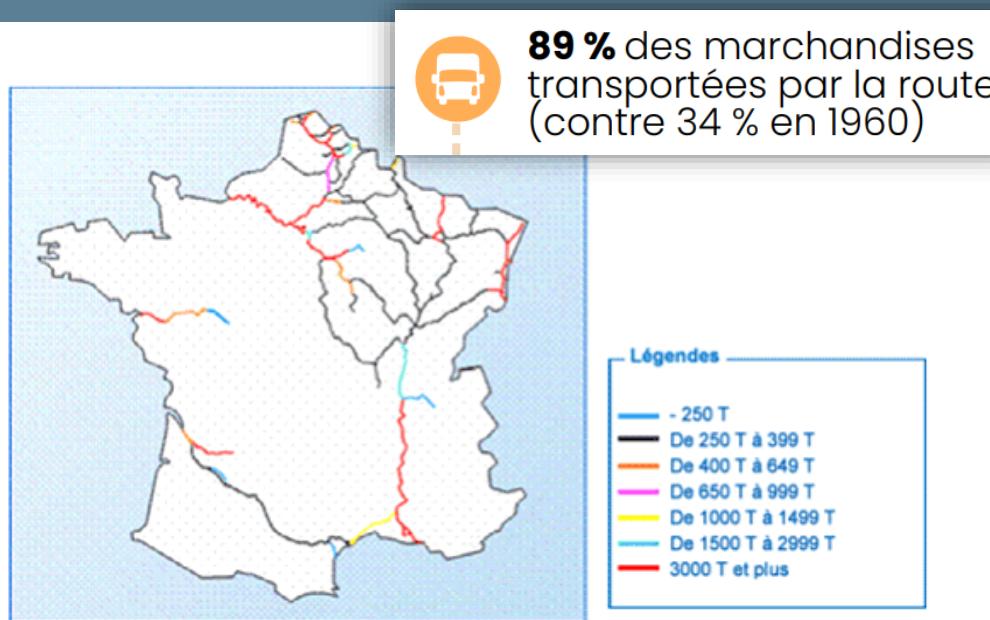
$$300/25 = 12 \Rightarrow 12 \text{ camions de } 44 \text{ T}$$

En considérant seulement l'énergie pour vaincre la gravité :

$$E = m \cdot g \cdot z$$

$$= 12 \times 44 \times 9,8 \times 44 \times 2,7 \times 10^{-7} \times 1000$$

$$\underline{\underline{E = 61,4 \text{ kWh}}}$$



Source : VNF

- « Voies navigables de France : Un canal d'avenir au service du développement durable ». Consulté le 5 avril 2022. <https://www.senat.fr/rap/r13-724/r13-7243.html>.



- Utilisation du transport fluvial et ferroviaire
- Mais aussi réduction de la demande !



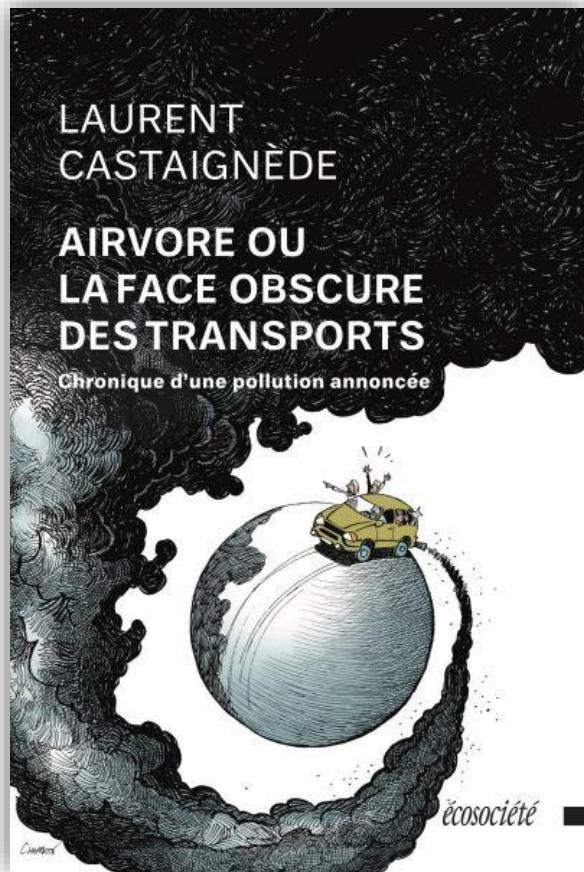
**La transformation
à horizon 2050**

Transport fluvial **x 3**
Transport ferroviaire **x 2**
Demande **- 25 %**

« Le Plan », Plan de transformation de l'économie Française, *The Shift Project*, consulté le 4 avril 2022, <https://ilnousfautunplan.fr/le-plan/>.



VI) Conclusion



- Laurent Castaignède, *Airvore ou la face obscure des transports*, écosociété, s. d.



THE CARBON
TRANSITION
THINK TANK

PLAN DE TRANSFORMATION DE L'ÉCONOMIE FRANÇAISE

Lancé par le Shift Project au printemps 2020, Le Plan de transformation de l'économie française (PTEF) vise à proposer des **solutions pragmatiques pour décarboner l'économie**, secteur par secteur, en favorisant la résilience et l'emploi.

Né dans le sillage de la crise sanitaire, ce plan s'inscrit dans la perspective du fameux « monde d'après » et a vocation à alimenter

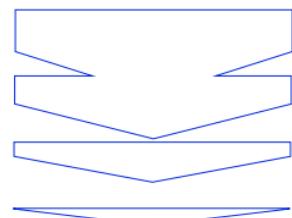
le **débat public**, en particulier en amont de l'élection présidentielle de 2022. Il s'agit de concevoir à grande échelle un **programme systémique de mesures opérationnelles** destinées à rendre l'économie compatible avec la limite des 2 °C. Cela implique de libérer l'**économie française de la double contrainte carbone** en réduisant, à la fois sa dépendance aux énergies fossiles et ses émissions de gaz à effet de serre.

Notre objectif est de convaincre un maximum de décideurs politiques et économiques de planifier la transition, avec des propositions concrètes et chiffrées afin de faire baisser les émissions de gaz à effet de serre du pays de 5 % par an dès 2022.

UNE APPROCHE SYSTÉMIQUE CONCENTRÉE SUR LES FLUX PHYSIQUES

L'élaboration du PTEF repose sur quatre piliers :

- Adopter une approche globale, systémique et cohérente du point de vue des lois de la physique et de la technique, et des flux économiques.
- S'intéresser aux vraies ressources rares : les ressources physiques et les compétences, l'emploi étant au cœur du dispositif.



- The Shift Project. « Crise(s), climat : plan de transformation de l'économie française ». <https://theshiftproject.org/crises-climat -plan-de-transformation-de-leconomie-francaise/>.



Conseil de lecture (3/5)

70

The image shows the cover of a report titled "Elaboration du projet alimentaire pour les territoires du PETR du Pays de Sarrebourg et de la ComCom du Saulnois". At the top, there are two logos: "PAYS DE SARREBOURG" with a green mountain graphic and "Communauté de communes du Saulnois" with a blue water and green tree graphic. Below the titles, the text reads "Elaboration du projet alimentaire pour les territoires du PETR du Pays de Sarrebourg et de la ComCom du Saulnois". Underneath, it says "Financé par" followed by logos for "RÉPUBLIQUE FRANÇAISE" (with the motto "Liberté Egalité Fraternité"), "ADEME" (Agence de l'environnement et de la transition écologique), and "MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION". The main title "Diagnostic du système alimentaire" is at the bottom left, along with the date "Mai 2021". The bottom right features a decorative border of various food-related icons.

Et rapports similaires produits par l'Etat afin de les critiquer positivement comme négativement



U – PANTHÉON – SORBONNE – 1
UNIVERSITÉ PARIS 1

**Documents de Travail du
Centre d'Economie de la Sorbonne**

**C
E
S**

**W
o
r
k
i
n
g
P
a
p
e
r
s**

A graphic consisting of four vertical bars of increasing height from left to right, with the letters 'C', 'E', and 'S' stacked vertically in the center.

**How Dependent is Growth from Primary Energy?
The Dependency ratio of Energy
in 33 Countries (1970-2011)**

Gaël GIRAUD, Zeynep KAHRAMAN

2014.97

The CNRS logo, which consists of the letters 'cnrs' in white on a dark blue circular background with a thin white border.

Maison des Sciences Économiques, 106-112 boulevard de l'Hôpital, 75647 Paris Cedex 13
<http://centredecomis.sorbonne.univ-paris1.fr/>
ISSN : 1955-611X

- Gaël Giraud et Zeynep Kahraman, « How Dependent is Growth from Primary Energy? The Dependency ratio of Energy in 33 Countries (1970-2011) », décembre 2014,
<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01151590>



Conseil de lecture (5/5)

Jeudi 24 mars, 18 h 30 : « *L'hydrogène vecteur d'énergie et de décarbonation* » par Rose-Noëlle VANNIER, Professeur à Centrale Lille Institut, chercheur à l'Unité de Catalyse et Chimie du Solide.

L'hydrogène apparaît aujourd'hui comme un vecteur d'énergie pour le stockage de l'électricité produite par intermittence ou lors des heures creuses mais également comme un moyen de décarbonation. Produit par électrolyse, il peut être directement injecté dans le réseau de gaz jusqu'à hauteur de 20 %, on parle alors d'hynthane (Projet GRHYD sur Dunkerque, coordonné par Engie). Il peut être transformé en méthane par réaction avec le dioxyde de carbone ou en d'autres molécules plateformes pour donner de nouveaux combustibles ou être utilisé directement dans une pile à combustible pour reproduire de l'électricité. Des entreprises telles qu'ArcelorMittal envisage son utilisation directe pour la réduction de l'acier.

Après une présentation du contexte et des applications, l'exposé se terminera par un focus sur les activités de recherche sur le sujet en Hauts de France et plus précisément sur le site de Villeneuve d'Ascq.

Rose-Noëlle VANNIER est Professeur à Centrale Lille Institut, chercheur à l'Unité de Catalyse et Chimie du Solide, Unité Mixte de Recherche, Université de Lille, CNRS, Centrale Lille et Université d'Artois, directrice de l'Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Lille, école interne de Centrale Lille Institut

Hydrogène : vecteur de décarbonation

4 février 2022. Jean Castex à Dunkerque annonce un investissement de 1,7 milliards d'euros pour décarboner les usines de Dunkerque et Fos-sur-Mer. Remplacement d'ici 2030 de trois hauts fourneaux sur cinq (deux à Dunkerque) par des unités de réduction directe du minerai par de l'hydrogène.

DUNKERQUE-PORT ET H2V S'ENGAGENT DANS L'HYDROGÈNE VERT

Ce 22 décembre 2020 Daniel DESCROIX, président par intérim du Directoire de Dunkerque Port, et Alain SAMSON, Président SAMT H2V, devant 12 hectares d'installations industrielles de production d'hydrogène sur ce territoire résolument engagé dans la transition énergétique.

Une Région à Lorient. Rage va produire en masse de l'hydrogène vert par électrolyse d'eau, avec une électricité à base d'énergie renouvelable garantissant une empreinte carbone nulle. Cet aménagement de l'hydrogène vert va permettre de répondre aux besoins des clients sur l'hydrogène vert en lien avec la décarbonation (industrie et mobilité).

La mise en service de l'usine, prévue en 2022-2023 va générer 70 emplois directs et 100 emplois indirects. Elle produira 28 000 tonnes d'hydrogène par an, soit 3% de la production française.

▶ 11:24 / 1:00:55

- « Conférences festival 2022 », consulté le 13 avril 2022, <http://www.dev.scienceenlivre.org/conferences-festival-2022/>.



- Karjalainen, Joni, Mira Käkönen, Jarmo Vehmas, et Jyrki Luukkanen. *Energy Models and Scenarios in the Era of Climate Change*, 2014.
- The Shift Project. « Possible déclin de l'approvisionnement en pétrole de l'UE d'ici 2030 – nouvelle étude du Shift Project », 23 juin 2020. <https://theshiftproject.org/article/ue-declin-approvisionnements-petrole-2030-etude/>.
- The Shift Project. « Publication du nouveau rapport du Shift sur l'approvisionnement pétrolier », 27 mai 2021. <https://theshiftproject.org/article/nouveau-rapport-approvisionnement-petrolier-europe/>.
- Joni Karjalainen et al., « Energy models and scenarios in the era of climate change », *Finland: Finland Futures Research Centre*, 2014.
- « Pétrole », Techniques de l'Ingénieur, consulté le 13 avril 2022, <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/42215210-combustibles-fossiles/download/be8520/petrole.html>.



ANNEXES



Russie

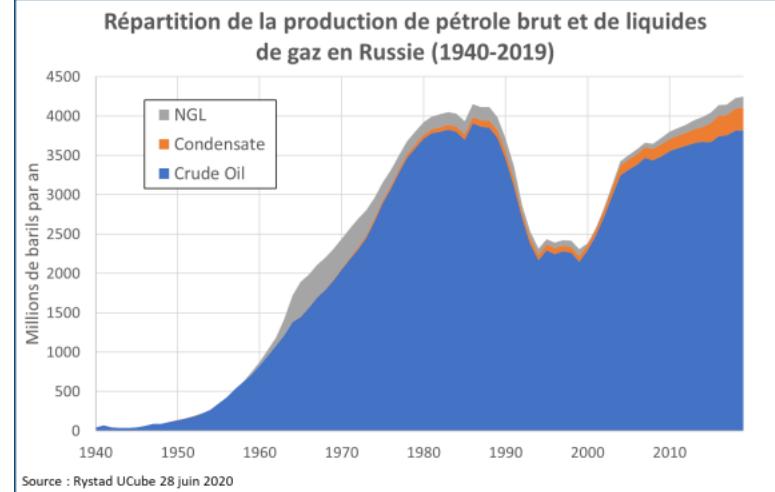
La Fédération de Russie, qui émerge à la suite de l'éclatement de l'Union Soviétique, est un producteur majeur de pétrole. La Russie a connu un premier pic de production du pétrole brut en 1986, 5 ans avant l'effondrement de l'URSS, mais produit plus de 10 millions de barils de pétrole par jour, soit un dixième de la consommation mondiale en 2019 à l'instar des États-Unis et de l'Arabie Saoudite. Historiquement fournisseur majeur de l'Europe en hydrocarbures, la Russie se tourne aujourd'hui davantage vers les centres de consommation situés en Asie. Ainsi, 30 % du pétrole exporté par la Russie seraient à ce jour à destination de l'Asie contre 6 % en 2006.

La Russie est un pays pétrolier ancien et mature. Les réserves baissent depuis 1990. Les volumes des champs en production, à la date de 2020, devraient subir une baisse modérée de l'ordre de 35% à 2030, puis plus marquée de l'ordre de 80% à 2050, cohérente avec la prédominance des champs onshore.

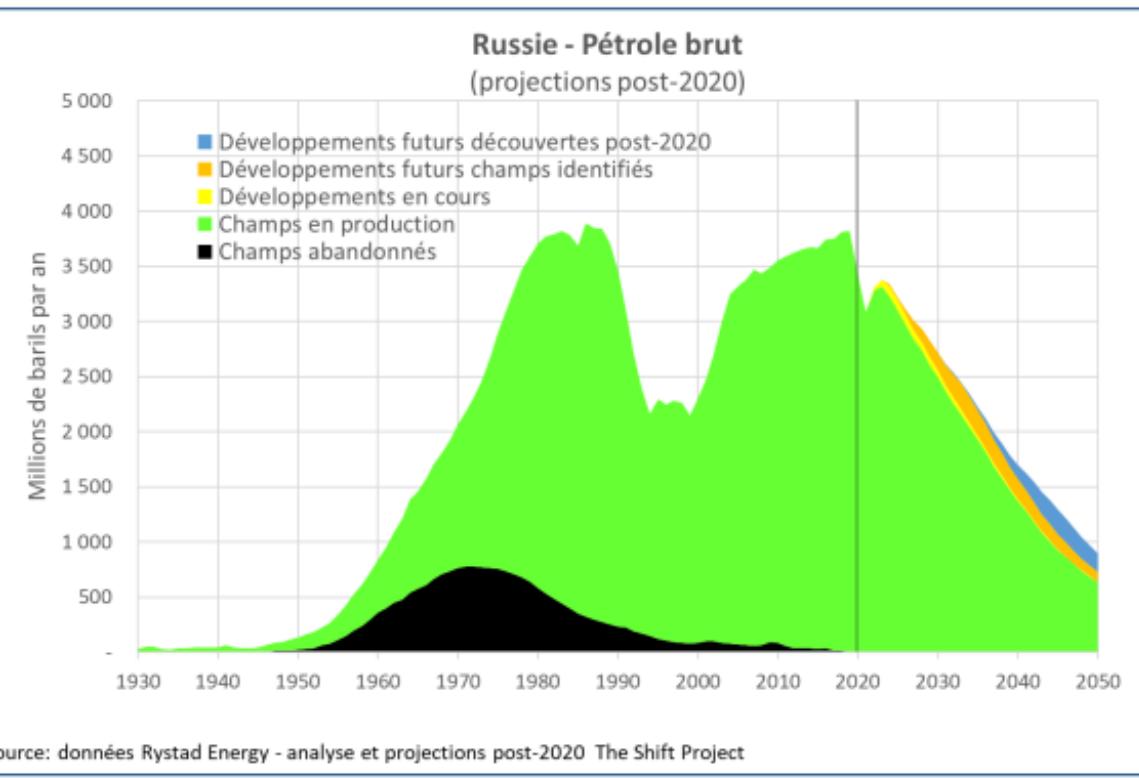
La Russie possède 41 champs, en cours de développement et non développés, pour un volume de 6 milliards de barils et **conserve par ailleurs un potentiel important de découvertes additionnelles d'ici à 2050**, estimé à près de 30 milliards de barils de pétrole brut. Sauf à pouvoir développer rapidement ses ressources non conventionnelles (shale oil du Bazhenov et LTO de l'Achimov en Sibérie Occidentale), **le développement de nouveaux champs ne devrait toutefois pas pouvoir compenser le déclin des champs actuellement en production.**

La production de pétrole brut devrait dans ce cas s'établir à 2,7 milliards de barils (7,5 Mb/j) en 2030 contre 3,8 milliards de barils en 2019 (10,5 Mb/j) et proche de 1 milliard de barils (2,5 Mb/j) en 2050.

Parmi les 16 principaux pays fournisseurs de l'UE27, **la Russie est au deuxième rang des réserves totales, identifiées et potentielles, de pétrole brut conventionnel avec environ 100 milliards de barils**, derrière l'Arabie Saoudite et devant l'Irak.



- The Shift Project. « Publication du nouveau rapport du Shift sur l'approvisionnement pétrolier », 27 mai 2021. <https://theshiftproject.org/article/nouveau-rapport-approvisionnement-petrolier-europe/>.



2,7 milliards de barils (7,5 Mb/j) en 2030 contre 3,8 milliards de barils en 2019 (10,5 Mb/j)

- The Shift Project. « Publication du nouveau rapport du Shift sur l'approvisionnement pétrolier », 27 mai 2021. <https://theshiftproject.org/article/nouveau-rapport-approvisionnement-petrolier-europe/>

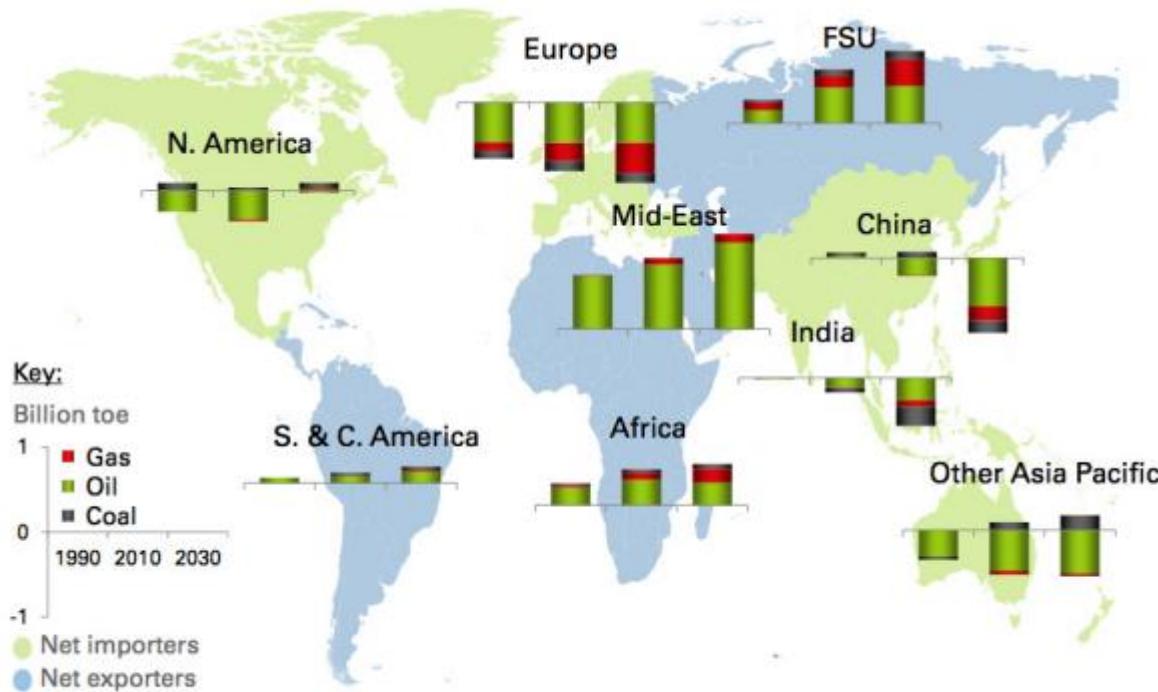


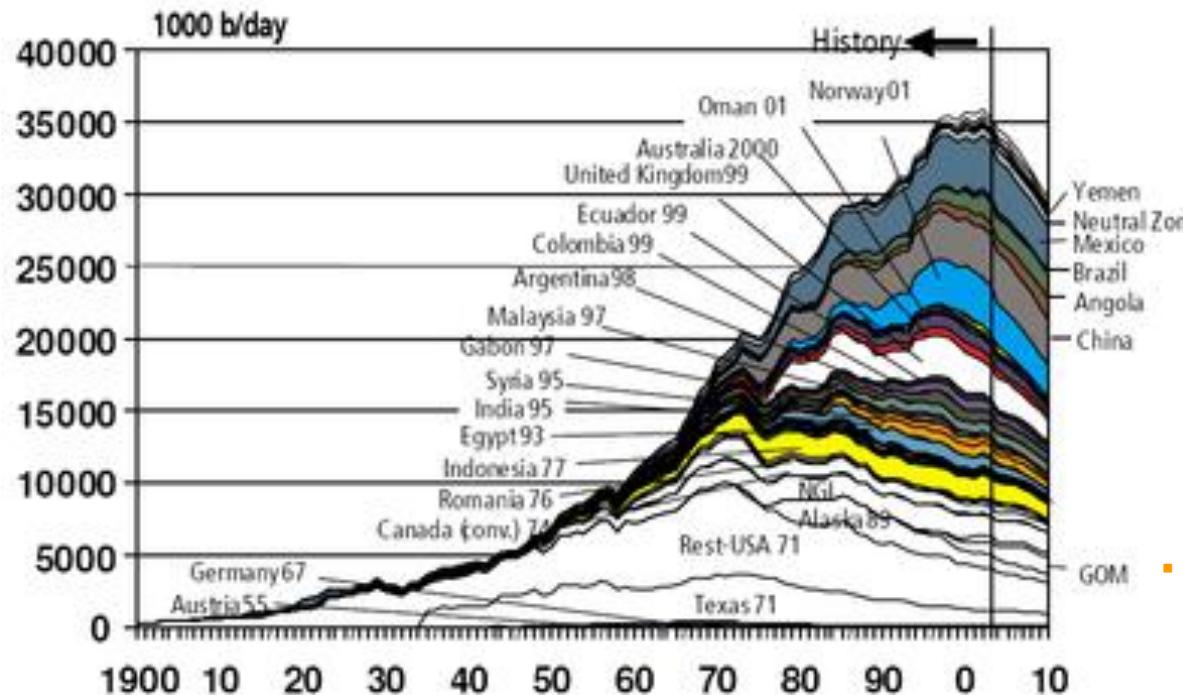
Figure 2.3. Energy imports and exports (BP 2012).

- Joni Karjalainen et al., « Energy models and scenarios in the era of climate change », *Finland: Finland Futures Research Centre, 2014.*



Problèmes limitant l'idée de la voiture individuelle: accès au pétrole

78



Source: Industry database, 2003 (IHS 2003)
OGJ, 9 Feb 2004 (Jan-Nov 2003)

- Government, U. S. Hubbert peak graph showing the world's oil production peak. Public domain document « Strategic Significance of America's Oil Shale Resource Volume I Assessment of Strategic Issues » at http://www.fossil.energy.gov/programs/reserves/npr/publications/npr_strategic_significancev1.pdf https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hubbert_world_2004.png.



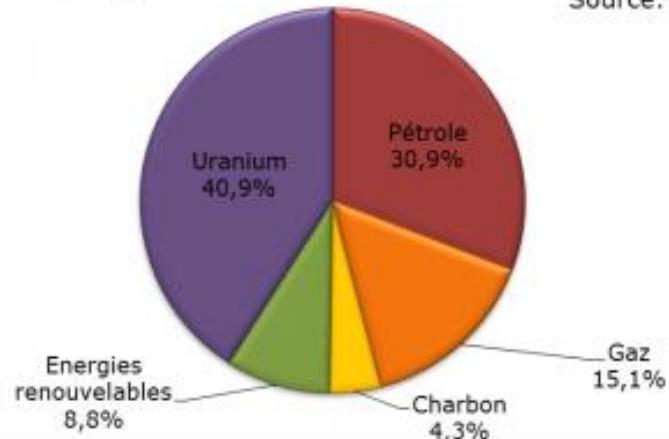
Origine de l'énergie utilisée en France

79

Consommation d'énergie primaire en France en 2010

Total: 266 Mtep

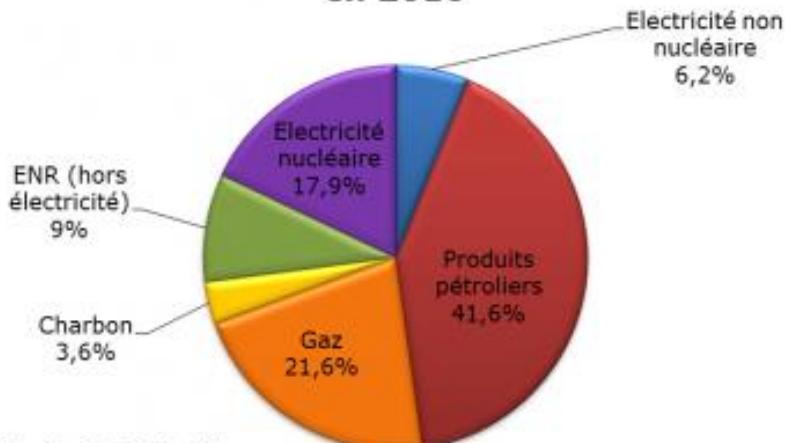
Source: SOeS



Consommation d'énergie finale en France en 2010

Total: 157,7 Mtep

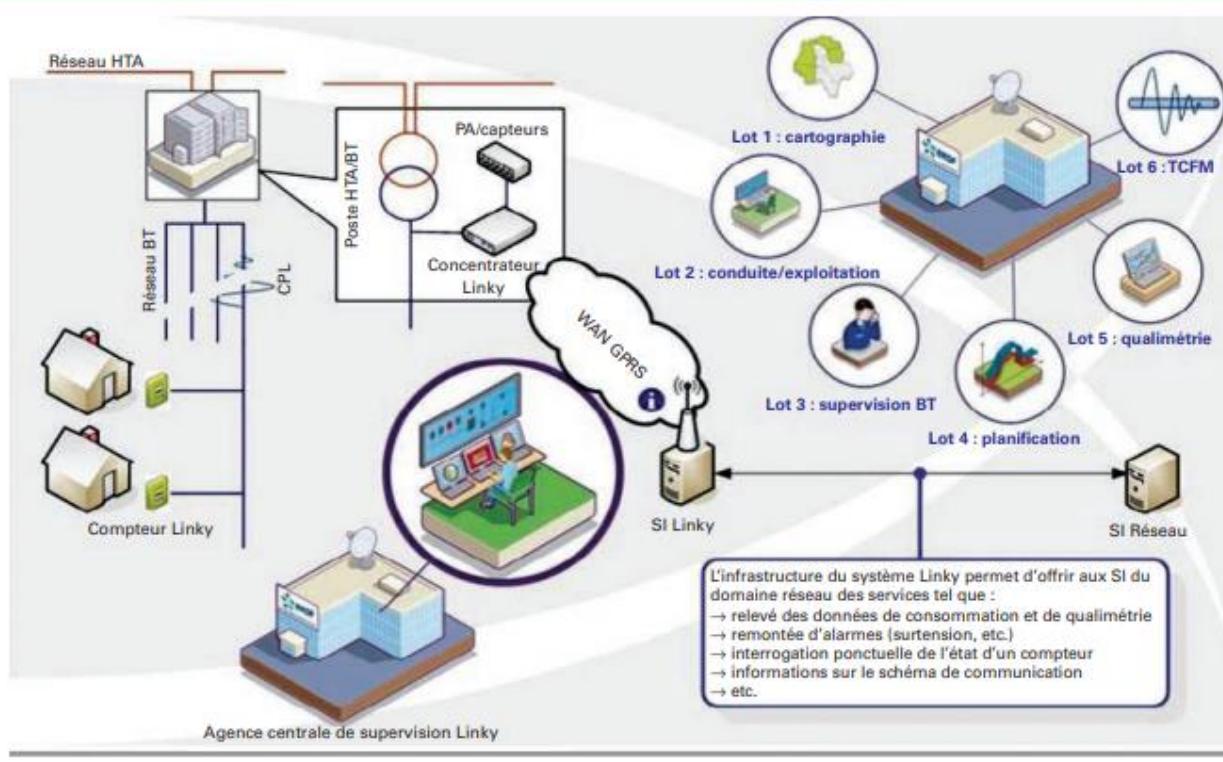
Source: SOeS



- The Shift Project. « Nucléaire : quelle est sa place dans l'énergie en France ? », 2 août 2011. <https://theshiftproject.org/article/place-du-nucleaire-en-france/>.



Voiture électrique : Smart Grid ?



- Alain Doulet et Jean-Paul Horson, « Smart Grids : contexte, acteurs et enjeux », *Réseaux électriques et applications*, juillet 2019,
<https://doi.org/10.51257/a-v1-d4963>.

Figure 6 – Contribution du compteur Linky aux fonctions de gestion de réseau



Louis XVI à l'échafaud

Et de fait, à partir de 1783, la France connaît des hivers terriblement froids, des printemps catastrophiques, avec orages, pluies diluvien-nes, grêles, toujours au moment où les récoltes à venir sont sur pied. Puis, peu avant 1789, les jonctions d'approvisionnement en denrées agricoles entre deux saisons deviennent impossibles à réaliser. Le blé est si cher que le travail d'une semaine d'un ouvrier lui permet alors à peine d'acheter le pain nécessaire à sa propre nourriture. La situation des paysans est désespérée, la Révolution éclate en 1789.

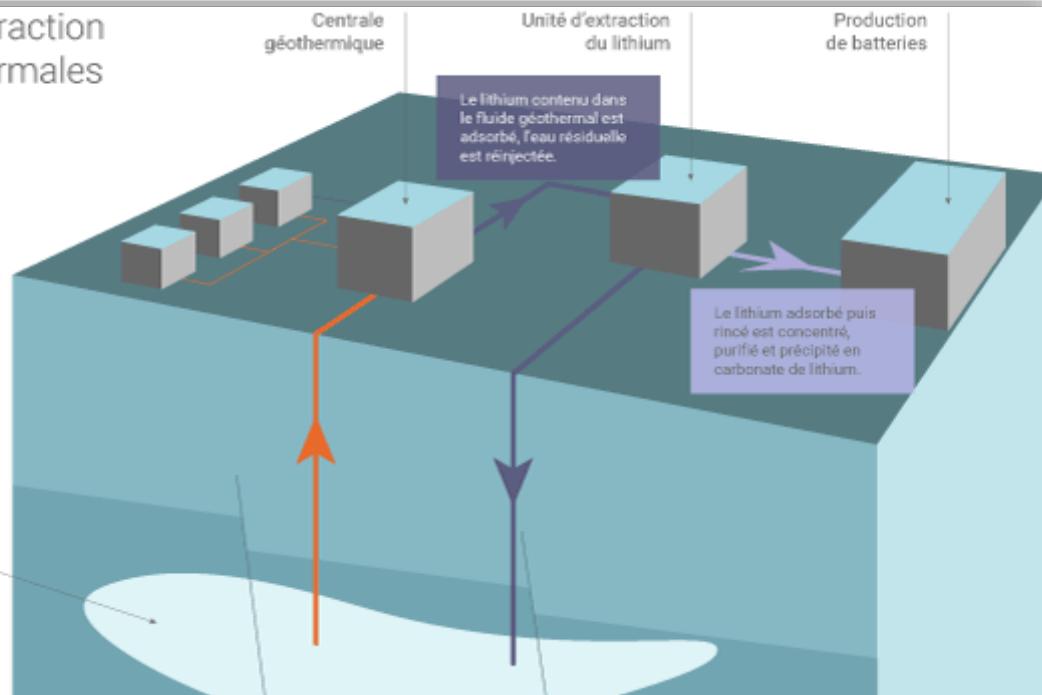
- Nathalie Lamoureux,
« Les mystères de
l'histoire - Le volcan de
la Révolution », Le
Point, 9 juillet 2013,
https://www.lepoint.fr/culture/les-mysteres-de-l-histoire-le-volcan-de-la-revolution-09-07-2013-1702139_3.php.



Explosion d'un volcan cause de la Révolution française ?

82

Lithium Principe d'extraction des saumures géothermales



- « L'exploitation de nos ressources en lithium, une opportunité industrielle majeure pour la France | Connaissances des énergies », 29 juin 2021, <https://www.connaissancesenergies.org/tribune-actualite-energies/lexploitation-de-nos-ressources-en-lithium-une-opportunité-industrielle-majeure-pour-la-france>.

On se doit de **rester humble**:
« La vérité ne se possède pas elle se
cherche » *Albert Jacquard*



DÉCOUVERTO

Une association qui allie culture et randonnée. Nous proposons des livres et une application mobile vous permettant de voir autrement votre environnement. Apprenez en vous promenant !

[Télécharger l'application](#)[Points de vente des livres](#)

Plus de **600 randonnées** disponible sur l'application et le site internet

