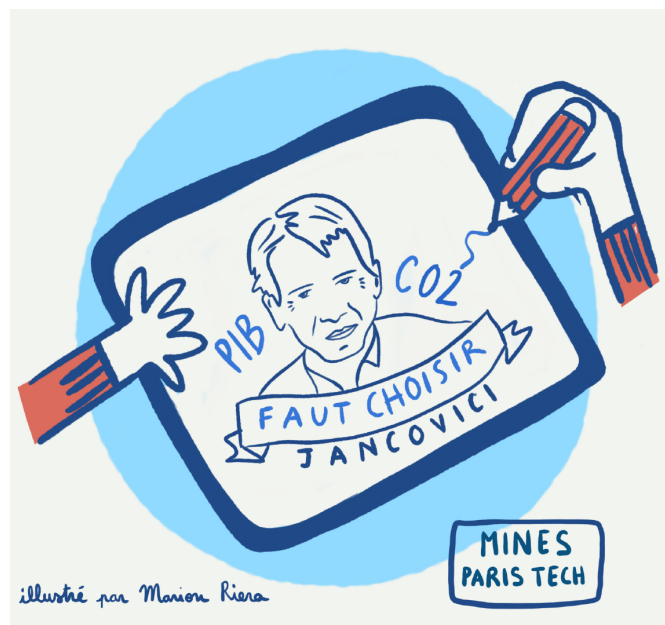


Éléments de base sur l'énergie au XXI^e siècle
Partie 5 – Les économies d'énergie



Cours magistraux dispensés à MINES ParisTech
Année scolaire 2018 – 2019

AVERTISSEMENT

Ce document a été réalisé par les membres de l'association de loi 1901 THE SHIFTERS au cours du second semestre 2019.

Il contient une transcription écrite d'une des interventions filmées de Jean-Marc JANCOVICI à MINES ParisTech au cours de l'année scolaire 2018-2019.

Cette transcription a été réalisée dans le but d'être la plus fidèle possible aux propos tenus par l'orateur lors de son intervention. Cependant, comme toute transcription écrite de propos tenus oralement, celle-ci est nécessairement imparfaite, et certains éléments du discours original ont été supprimés ou révisés – quoique de façon marginale – afin d'obtenir un texte plus fluide.

L'intervention filmée originale est consultable à l'URL suivante:

<https://www.youtube.com/watch?v=PEY6LmscKc4>

Ce document est placé sous license CC-BY-NC-SA. Il est librement distribuable, sauf à des fins commerciales. Dans le cas où ce document servirait à produire des créations dérivées, il convient aux auteurs de ces créations dérivées de faire mention de la provenance du présent document et de placer ces créations dérivées également sous licence CC-BY-NC-SA.

Table des matières

Introduction	1
1 Une première raison de faire des économies	2
2 Et une deuxième!	5
3 1,5 °C : si on émet encore, il faudra séquestrer	7
4 2 °C, fingers in the nose?	9
5 Au restaurant « Le bon développement durable », plat unique . .	12
6 Vous êtes plutôt final, ou plutôt utile?	16
7 Prenons un exemple	19
8 Prenons un exemple (bis)	21
9 Économies? Quelles économies?	23
10 Vous êtes plutôt primaire, ou plutôt final?	26
11 Énergie primaire = carbone, ou presque	27
12 L'électricité sent plus fort le carbone que le panneau	28
13 Dans l'enfer de la règle de trois	30
14 Soyons efficaces!	35
15 Mais pas partout...	36
16 Ni là...	37
17 Et pas là non plus!	38
18 Soyons décarbonés!	39
19 Mais pas partout non plus	41
20 Soyons... heu quoi au fait?	42
21 PIB++ et CO ₂ --, cela devrait donner ceci	44
22 Une autre possibilité...	46
23 Et qui arrive en tête des réserves de carbone?	48
24 Les cochons de pollueurs... sont des cochons qui votent	50
25 L'idée qu'on se fait d'une organisation « normale »	52
26 Et donc pour un gouvernement, c'est pareil?	53
27 Une démocratie, ce n'est pas une entreprise	54
28 Il a dit quoi, TOCQUEVILLE, déjà? (en 1840)	56
29 Les médias sont (hélas ou heureusement?) incontournables . . .	60
30 Dur métier que celui de journaliste	62
31 Parlez-moi de transparence!	64

32	Moins de GES, revenons à la théorie (simple!)	66
33	Moins de CO ₂ , revenons à la théorie (simple!)	67
34	Moins de CO ₂ , on commence par le plus facile (ou presque) . . .	68
35	On produit le CO ₂ , mais on le met dans un trou	70
36	Attraper (rien que) le CO ₂ , 1 ^{ère} difficulté	71
37	Trouver le trou (bien étanche), 2 ^e difficulté	74
38	La séquestration c'est bien, sauf que	76
39	Faire une maison « zéro énergie », on peut	79
40	L'impossible définition des économies : le chauffage	80
41	Mais...	81
42	Laissez les ingénieurs faire des voitures économes!	83
43	Mais...	85
44	En voiture, tout le monde!	86
45	Mais l'Europe n'est pas le monde...	87
46	Et nous autres gaulois sommes européens	88
47	Moins de pétrole, moins de camions	89
48	L'impossible définition des économies : l'électricité	90
49	L'impossible définition des économies : l'électricité	91
50	Mais...	92
51	Économies?	93
52	Plus d'électrons pour tous	94
53	Et encore plus!	95
54	Efficacité?	96
55	Moins d'énergie, c'est quoi exactement?	97
56	En fait la vérité est dans le prix	99
57	La morale c'est bien, mais le prix c'est mieux	102
58	Bis repetita placent...	104
59	Combien plus cher?	106
60	La vertu a un prix, cela reste vrai même pour vous!	108
61	Un prix suppose quelqu'un qui paye...	110
62	L'argent ne va pas au même endroit...	112
63	Une autre manière de voir le prix du CO ₂	114
64	Carbone? Vous avez dit carbone?	116
65	www.decarbonizeurope.org	118
66	Du passé vers quel avenir?	124

Introduction

Aujourd'hui, on va commencer à rentrer dans le charme de la solution au problème. Le charme ou l'absence de charme plus exactement...

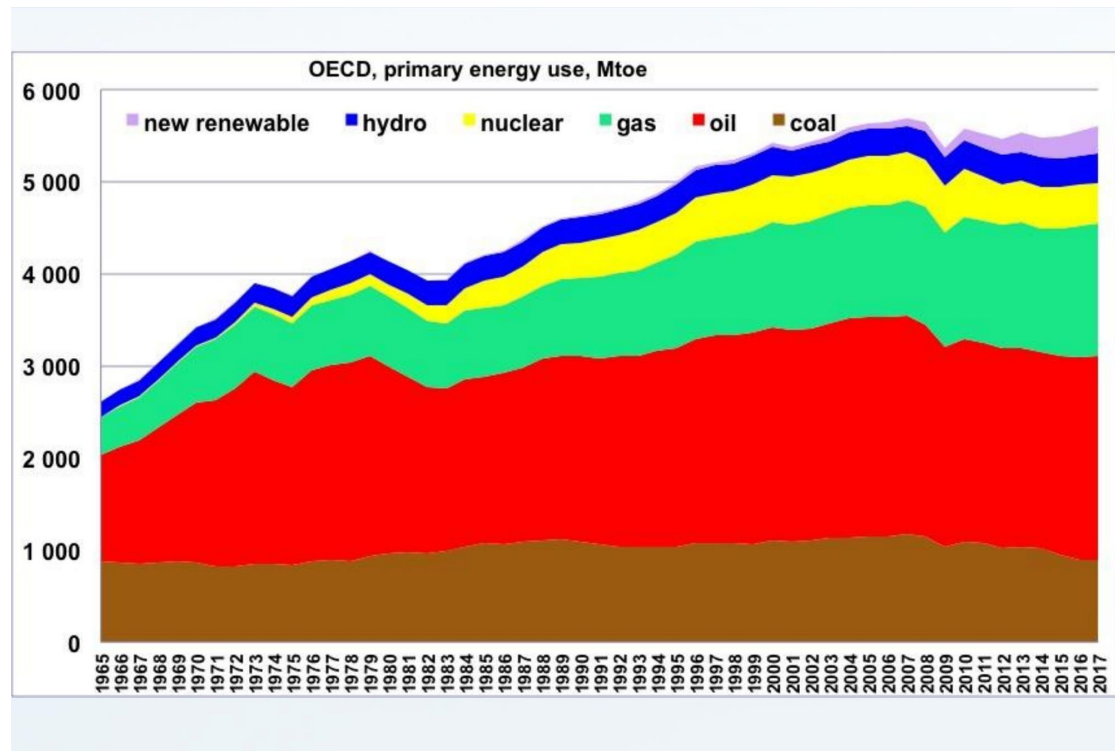
Donc, si je résume les quelques cours précédents. On a inventé un système de corne d'abondance merveilleuse qui s'appelle la civilisation industrielle, qui permet d'augmenter le pouvoir d'achat, qui permet d'augmenter le temps libre, qui permet d'augmenter la production de tous les gadgets qui vous passent par la tête, des taxis volants jusqu'aux téléphones qui tiennent tout seul en l'air comme dans Harry Potter... Et puis, cette affaire-là se heurte à au moins deux limites physiques.

La première c'est que l'approvisionnement énergétique fossile n'est pas infini, et la deuxième c'est que notre activité met un peu partout des sous-produits indésirables, dont des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, qui sont susceptibles d'engendrer des changements que nous allons trouver éventuellement pas très sympathiques... Alors, dans la manière d'essayer de « résoudre le problème » qui est posé par la situation actuelle, il y a deux grandes familles de solutions.

La première, c'est d'essayer de faire fonctionner un système socialement stable avec moins d'énergie. C'est ce que l'on va regarder aujourd'hui. La deuxième, que l'on va un tout petit peu regarder aujourd'hui aussi et que l'on regardera les deux cours suivants, c'est : comment est-ce que l'on essaye de faire en sorte que cette énergie soit disponible en mettant moins de gaz à effet de serre dans l'atmosphère ? D'accord ?

Donc, il y a deux grandes familles : ou j'en utilise moins, ou j'essaye d'en utiliser de la « moins carbonée ». Donc, le premier débat concerne les économies d'énergie, et le deuxième débat, porte sur tout ce qui est décarbonation de l'énergie, en particulier le renouvelable et le nucléaire. Ce sont les deux grandes familles de discussion que l'on va voir à partir de maintenant.

1. Une première raison de faire des économies



Diapositive 2.

Par ailleurs, il y a quelque chose de théorique pour les uns, et de plus pratique pour les autres, dans cette discussion. Parce que, comme j'ai essayé de l'exposer dans les cours précédents, tous les pays ne vont pas être... Toutes les zones ne vont pas être logées à la même enseigne en ce qui concerne le calendrier de cette histoire. C'est-à-dire que, de toute façon, même moi, pour le temps qu'il me reste à vivre, et vous, pour tout le temps qu'il vous reste à vivre, de manière absolument certaine, nous ne pourrions pas échapper à quelque chose concernant cette affaire.

C'est-à-dire que, soit les économies et la décarbonation, on les gère, soit on les subit. Mais de toute façon on ne passera pas à côté. Et l'Europe, malheureusement pour nous, est, après le Japon, la zone dans le monde qui est le plus pauvre en ressources énergétiques. Le Japon n'a rien : c'est assez simple. L'Europe a encore la mer du Nord, et du charbon en Pologne et en Allemagne. Mais enfin, ce n'est pas assez pour assurer une croissance de la quantité d'énergie disponible à partir de maintenant. Même si on se fiche du climat.

1. UNE PREMIÈRE RAISON DE FAIRE DES ÉCONOMIES

Donc il y a une raison de faire des économies d'énergie qui est souvent la raison la plus fréquemment mise en avant dans le débat médiatique – et je parlerai un tout petit peu des médias pendant ce cours – qui est : « Il faut faire quelque chose contre le changement climatique. » Mais il ne faut pas oublier qu'il y a de toute façon une voiture-balai dans cette histoire, et qu'elle est déjà à l'œuvre dans les pays de l'OCDE.

C'est ce que rappelle ce graphique, qui montre que l'approvisionnement énergétique est déjà contraint pour une partie des énergies que nous utilisons. Alors, je ne vous re-projette pas le graphique concernant l'Europe, mais je vous rappelle qu'en ce qui concerne l'Europe, l'approvisionnement de charbon est en déclin, « climat ou pas climat ». L'approvisionnement en pétrole est en déclin, « climat ou pas climat ». Et l'approvisionnement en gaz est en déclin, « climat ou pas climat ». Donc on a 80% de notre approvisionnement qui est de toute façon en déclin, en tendance.

Dans la zone OCDE, vous voyez que depuis 2007, l'approvisionnement est passé par un maximum, et depuis, il ne retrouve pas le chemin de la croissance. Donc en fait, le fait de devoir faire fonctionner un système socialement stable avec moins d'énergie est déjà une équation qui est devant nous depuis une dizaine d'années dans la zone que l'on appelle OCDE. Alors l'OCDE, c'est ce que l'on appelait autrefois les pays riches. C'est-à-dire l'Europe de l'Ouest, l'Australie, le Japon, la Corée du Sud, la Turquie et toute l'Amérique du Nord. Voilà, c'est ça la zone OCDE.

En ce qui concerne la partie amont, le besoin de faire des économies parce que l'on a déjà un problème d'approvisionnement est déjà une réalité aujourd'hui. Alors, ce n'est pas connu de la population riche et bien nourrie qui est dans cette salle... Parce que nous faisons partie, pour mettre un peu les pieds dans le plat – sauf quelques-uns d'entre vous – de ce que l'on appelle les CSP+. Donc ce sont les gens qui sont à l'abri du besoin. Parce que vos parents sont pour l'essentiel enseignants, cadres supérieurs, etc. C'est ça, le panorama de l'élève-type dans l'enseignement supérieur technique dans ce pays.

Donc vous ne voyez pas le problème chez vous. La question des économies forcées, c'est quelque chose que vous ne voyez pas chez vous. Par contre si vous regardez ce qui est en train de se passer dans les zones périphériques des villes depuis dix ans, je peux vous assurer que le problème est déjà à l'œuvre. Mais vous ne le voyez pas chez vous. Encore une fois : sauf exception.

Donc la première raison de faire des économies, encore une fois, c'est que de toute façon il va y en avoir moins, et du coup, *confer* le premier cours, toutes choses égales par ailleurs, il y aura moins d'économie, moins d'énergie, moins de machines, moins de PIB. Oui ?

1. UNE PREMIÈRE RAISON DE FAIRE DES ÉCONOMIES

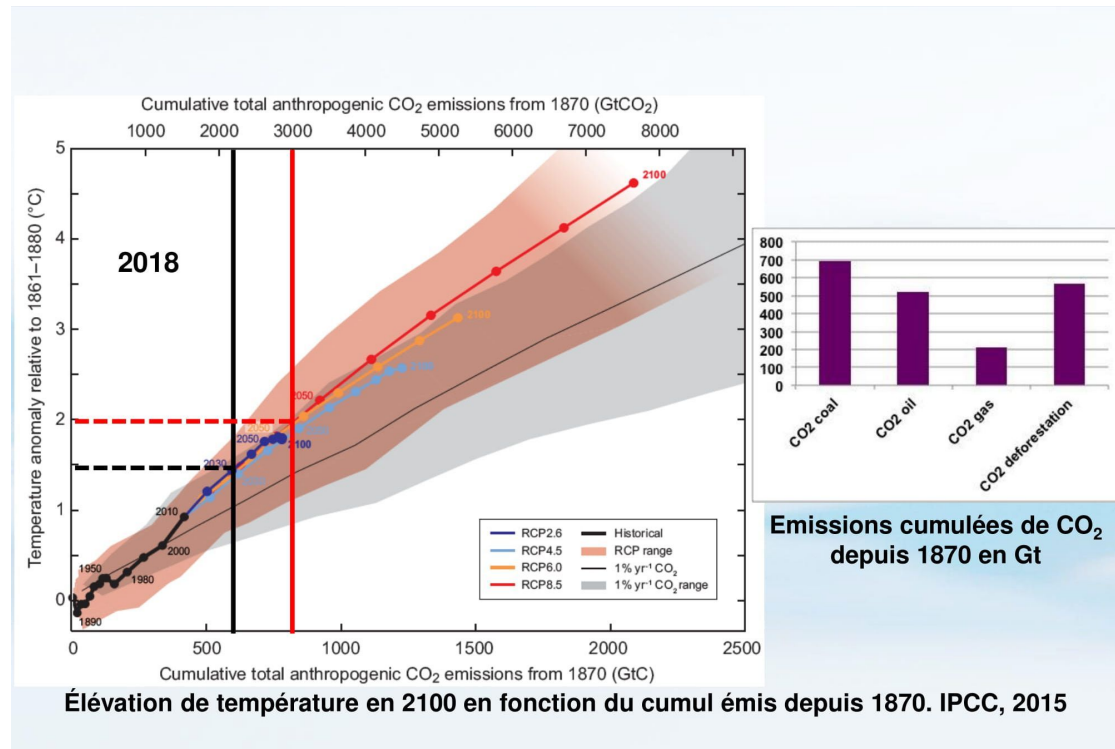
*** Question auditoire ***

Question sur la perception des économies forcées en France.

Baisse du revenu. Augmentation des inégalités, augmentation du chômage, etc. C'est-à-dire que les problèmes de type économique se concentrent dans ces endroits-là. Chez les gens que l'on appelle les « working poor » en bon français, c'est-à-dire chez les gens qui travaillent mais qui pour autant n'arrivent pas à joindre les deux bouts. Alors en France, avec notre salaire minimum très élevé, c'est un truc que l'on voit moins. Pour contrebalancer cette tendance, il faut faire des contrats jeunes, trouver des solutions très spécifiques et déroga-toires du droit commun. Mais dans d'autres pays occidentaux c'est comme ça qu'aujourd'hui l'ajustement se fait.

Voilà, donc j'insiste un peu là-dessus parce que, encore une fois, très souvent quand on parle des économies d'énergie ou des autres marges de manœuvre que nous avons face au changement climatique, on continue à voir ça comme quelque chose qu'il faudrait se décider à faire la semaine prochaine pour éviter des gros problèmes en 2050... Et j'insiste beaucoup, beaucoup, beaucoup, sur le fait que, en Europe, ce n'est déjà plus une option : les économies, on les fait de toute façon déjà en Europe.

2. Et une deuxième!



Diapositive 3.

La deuxième raison de faire des économies, c'est donc la question du changement climatique. Alors je vous montre ici un graphique. Ce graphique superpose le résultat de tout un tas de simulations faites avec des modèles de climat. Vous le trouverez dans le dernier rapport complet du GIEC. Ces simulations vous donnent en abscisse les émissions cumulées de CO₂ au cours du temps, et en ordonnée la réponse en température du système en fonction des émissions cumulées de CO₂.

Ce que vous voyez, en gros, c'est que l'on a affaire à une droite avec des niveaux d'élévation de température compris entre l'ère préindustrielle et 2100. Dit autrement, avec l'inertie du CO₂ dans l'atmosphère, c'est l'élévation de température embarquée dans les émissions qui ont déjà eu lieu. C'est comme ça qu'il faut lire le graphique. Donc, si par exemple on s'arrête aux émissions cumulées d'aujourd'hui, qui font à peu près 2200 milliards de tonnes de CO₂, et bien nous avons déjà embarqué 1,5 °C de réchauffement.

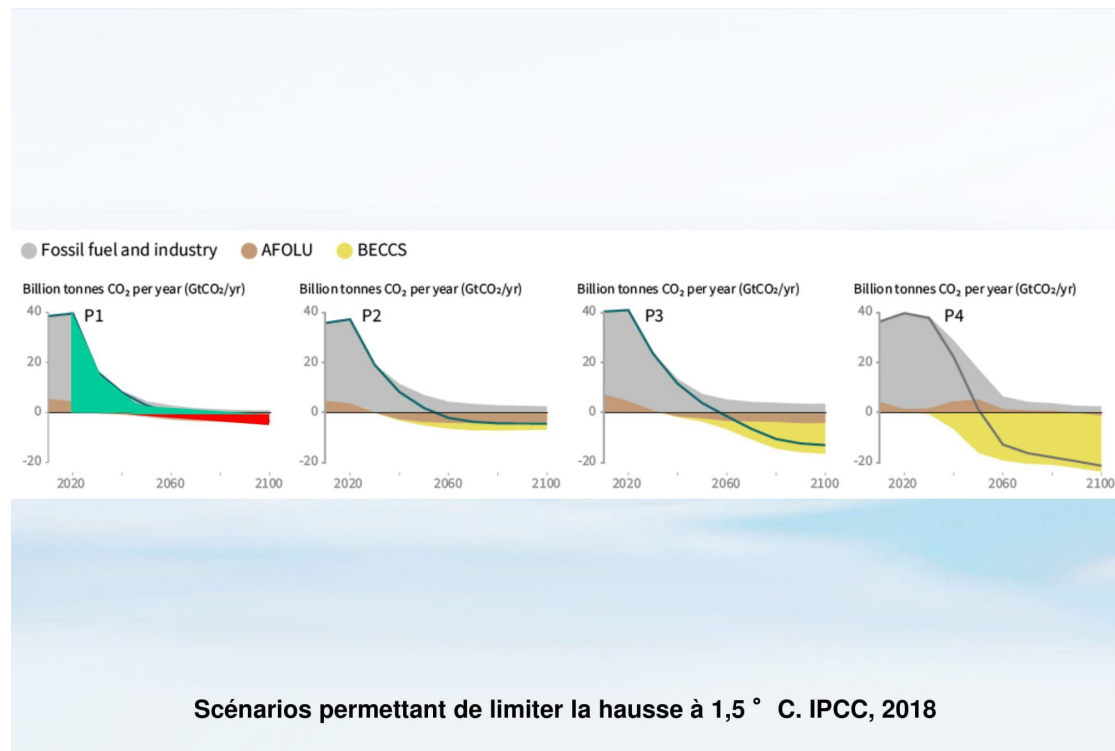
2. ET UNE DEUXIÈME !

Alors vous allez me dire : « Ah ? Mais comment ça se fait puisque dans les accords de Paris on a dit que l'on allait faire tout ce que l'on pouvait pour limiter le réchauffement à 1,5 °C ? Donc, si on l'a déjà avec ce que l'on a déjà émis, pourquoi est-ce que l'on discuterait de le limiter à 1,5 plus tard puisque de toute façon on ne peut plus rien faire : il est déjà là ? ». Bon, j'y reviendrai juste après. Mais, en gros, si on arrête les émissions demain matin, ce que vous dit ce graphique, c'est que l'on prend en gros 1,5 °C à la fin du siècle.

Si on veut limiter le réchauffement à 2 °C à la fin du siècle, à ce moment, on fait le chemin inverse et ce que l'on voit c'est qu'il faut limiter les émissions à 3000 milliards de tonnes de CO₂, dont 2200 ont déjà été émises. Donc en gros, ça veut dire qu'il faut limiter les émissions pour la partie du siècle qui reste (donc entre maintenant et 2100) à 800 milliards de tonnes de CO₂. C'est-à-dire, en première approximation, le tiers de ce qui a été émis pendant le siècle qui a précédé avec une population en moyenne trois fois moins nombreuse.

Ce qui veut dire que le droit à émettre de chacun d'entre vous sur ce qui vous reste à vivre, si je fais cette règle de trois jusqu'au bout, c'est le neuvième du droit à émettre qu'ont eu vos grands-parents jusqu'au moment où ils sont morts. D'accord ? C'est à peu près ça le résultat de la règle de trois. Alors vous comprenez que, effectivement, si on veut faire quoi que ce soit d'approchant de cette limite, il va falloir s'occuper en particulier de la quantité d'énergie que l'on utilise, d'où une deuxième justification en ce qui concerne les économies d'énergie.

3. 1,5 °C : si on émet encore, il faudra séquestrer



Diapositive 4.

Alors, je vous disais : 1,5 °C avec les émissions passées, on est à peu près sûr de les avoir de toute façon.

Alors, c'est un tout petit peu plus compliqué que ça. Ce que vous voyez ici c'est quatre trajectoires d'émissions qui permettent de limiter le réchauffement à 1,5 °C à la fin du siècle. Et donc, vous pouvez déduire de ces trajectoires d'émissions que tout ce que l'on aura émis à partir de maintenant et jusqu'au moment où les émissions nettes seront nulles devra être compensé par des émissions négatives. C'est-à-dire par de la séquestration nette pour compenser le surplus que l'on aura transitoirement mis dans l'air. D'accord ?

Donc on a le droit d'utiliser l'atmosphère comme un stock tampon pendant quelques dizaines d'années pour rajouter du CO₂ dedans, à condition qu'ensuite, on commence à le retirer en net. J'insiste : en net ! Ça veut dire qu'à ce moment-là, non seulement il ne faut plus qu'il y ait une source de CO₂ dans le monde, ou en tout cas plus beaucoup, mais en plus, il faut que ce que l'on avait déjà mis dans le passé on le retire de l'atmosphère. Et alors, on le retire de

3. 1,5 °C : *SI ON ÉMET ENCORE, IL FAUDRA SÉQUESTRER*

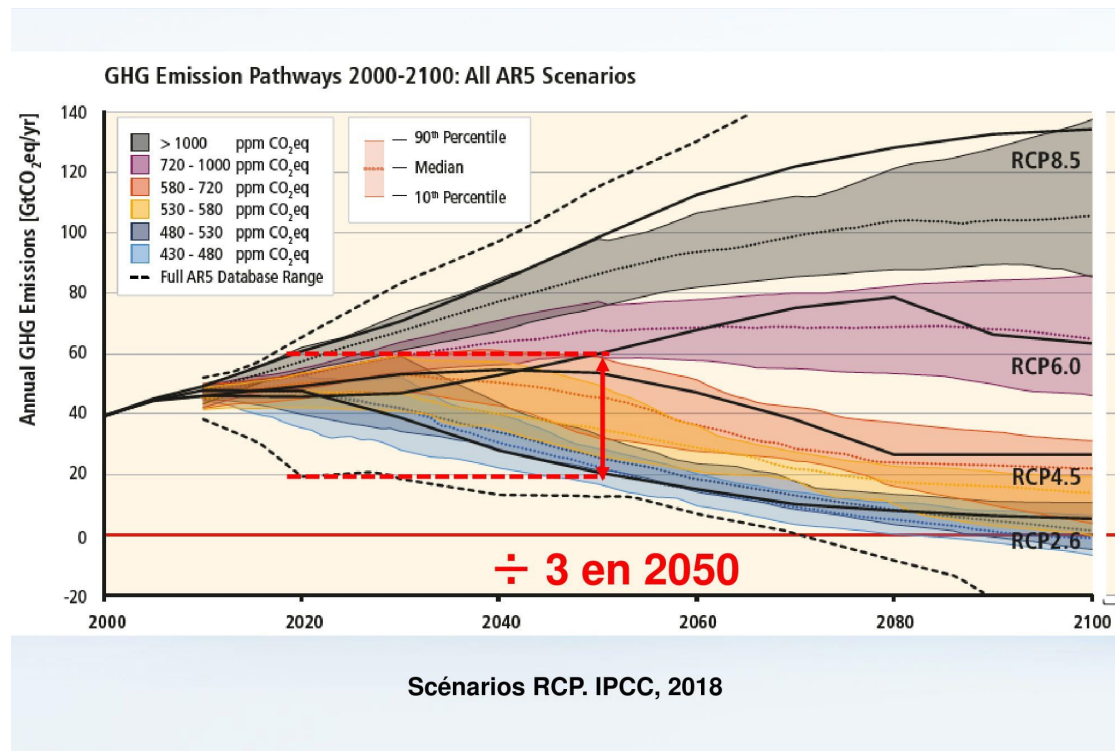
l'atmosphère avec deux marges de manœuvre qui portent des acronymes très sympathiques dans ce graphique, qui s'appellent AFOLU et BECCS.

Alors, AFOLU ça veut dire « AFOrestation and Land Use », dit autrement c'est le changement d'usage des sols. C'est le fait de transformer des sols qui ne captent pas de carbone en sols qui captent du carbone. C'est ça que l'on appelle AFOLU. Donc c'est soit reforester des terres qui n'avaient pas de forêts et, à ce moment, le fait que vous créez un stock de forêt, un stock de biomasse, ça vous transfère du carbone de l'atmosphère vers le sol. Ou bien, vous changez vos pratiques agricoles. Par exemple, vous labourez moins, ce qui permet de remettre du carbone dans le sol. Voilà, c'est ça AFOLU.

Et BECCS, c'est « Biomass Energy Carbon Capture ». Cela concerne les centrales électriques au bois où vous capturez le CO₂ en sortie de combustion et vous le remettez sous terre. Donc, la forêt capte le CO₂ de l'atmosphère. Le carbone est donc passé de l'atmosphère dans le bois. Ensuite, vous brûlez le bois dans une centrale électrique et vous capturez le CO₂ de la centrale électrique pour le mettre ensuite sous terre. Donc vous avez fait la totalité du chemin inverse : atmosphère vers le sous-sol. Alors qu'aujourd'hui on fait dans l'autre sens : combustibles fossiles vers atmosphère, donc sous-sol vers atmosphère.

Voilà, donc je ne vous détaille pas chacun des quatre scénarios, mais vous voyez que, en gros, dans l'esprit, ce que l'on a mis dans l'atmosphère jusqu'en 2050, il faut le retirer ensuite. Alors ces scénarios s'arrêtent en 2100, mais après 2100, il faut continuer à séquestrer en net. Donc, je le redis encore autrement, pour limiter le réchauffement à 1,5 °C en 2100, il faudrait que l'on s'arrête d'émettre demain matin. Bon, ce n'est pour le moment pas le cas.

4. 2 °C, fingers in the nose?



Diapositive 5.

Si on veut limiter à 2 °C, donc là ce n'est pas demain matin qu'il faut s'arrêter d'émettre, mais à peu près...

Vous avez ici la trajectoire d'émissions, de CO₂ uniquement, qu'il faut respecter pour tenir la limite des 2 °C. Alors, il se trouve qu'aujourd'hui, si on rajoute les autres gaz à effet de serre au CO₂, on est à peu près à 60 milliards de tonnes équivalent CO₂ d'émissions par an, et il faudrait que l'on soit aux alentours de 20 en 2050.

Alors, quand on parle de ce qu'il faut faire pour limiter le réchauffement à 2 °C, on fait une approche probabiliste. Cela veut dire en fait que l'on a deux chances sur trois de limiter le réchauffement à 2 °C. Donc, avec cette trajectoire-là, on a déjà une chance sur trois d'excéder les 2 °C. Parce que je rappelle qu'il y a une barre d'erreurs dans les simulations climatiques, et donc les résultats ne sont pas absolument garantis. Quand on essaie de simuler l'avenir, on travaille en ordres de grandeur.

4. 2 °C, *FINGERS IN THE NOSE*?

Donc, retenez que d'ici à ce que vous ayez mon âge, si on veut limiter le réchauffement à 2 °C, il faut que les émissions planétaires soient divisées par trois. C'est ça l'ordre de grandeur qu'il faut avoir en tête. Si on n'est pas capable de limiter les émissions par trois d'ici à ce que vous ayez mon âge, c'est absolument certain. Donc je peux parier la totalité de mes économies plus celles de qui veut (je ne serai pas là pour voir le résultat, mes enfants si normalement), qu'on ne tiendra pas les 2 °C. Parce que tout ça est une affaire, encore une fois, de réchauffement embarqué et de grande durée de vie du CO₂ dans l'air. Oui?

*** Question auditoire ***

Question sur la captation du CO₂.

Très grande « discontinuité »? Ah oui! À l'échelle géologique. Bien sûr. Alors, il y a deux choses qui sont distinctes. La captation du CO₂, je vous expliquerai plus tard en quoi ça consiste techniquement.

Celle que l'on envisage aujourd'hui, c'est la captation du CO₂ fossile. Donc, en gros, vous retirez des combustibles fossiles du sous-sol, vous les brûlez et au lieu de laisser le CO₂ partir dans l'atmosphère, vous le récupérez et vous le remettez dans le sous-sol. Donc là, vous avez une opération blanche (on va dire). Mais ça ne vous diminue pas la quantité de CO₂ dans l'atmosphère. Ça vous empêche simplement de l'augmenter.

Si vous voulez la diminuer, à ce moment, il faut récupérer le CO₂ de l'atmosphère avec des plantes, brûler les plantes, prendre le CO₂ de la combustion des plantes capturé, et celui-là le mettre sous le sol. Et à ce moment, vous avez fait en gros ce que la géologie a fait sur 50 millions d'années quand elle a fait du pétrole. C'est-à-dire qu'elle a retiré du CO₂ atmosphérique et elle l'a collé sous le sol sous forme de stock de carbone. Voilà, c'est ça. Et BECCS, dans ce que j'évoquais avant, c'est très exactement ça. Donc c'est un moyen, en gros, de passer l'aspirateur à CO₂ dans l'atmosphère.

Mais c'est un moyen qui marche sur le papier. Je vous montrerai après toutes les limites qui font que moi je ne suis pas prêt à parier qu'il va y avoir ça partout dans les 30 ans qui viennent. Voilà.

Donc retenez les ordres de grandeur. C'est une division par trois en l'espace d'une génération à une génération et demie qu'il faut faire pour tenir les 2 °C. Il faut garder cet ordre de grandeur en tête. Oui?

*** Question auditoire ***

Question sur la captation du CO₂ de l'atmosphère avec les plantes.

Parce que si vous les brûlez sans remettre le CO₂ sous le sol, le CO₂ repart dans l'atmosphère. Donc à nouveau vous avez une opération blanche. Pardon?

4. 2 °C, *FINGERS IN THE NOSE*?

Si on ne les brûle pas, vous n'avez pas d'énergie. Donc là l'idée, c'est de les utiliser à la place du charbon ou du gaz, ou de n'importe quoi d'autre, pour faire de l'électricité. Oui, mais s'ils se décomposent tout seuls dans leur coin, vous n'avez pas d'énergie. Donc là en fait, c'est un procédé qui est destiné à remplacer, en particulier dans la génération électrique, le charbon et le gaz.

Donc l'idée c'est qu'au lieu de déstocker du carbone du sous-sol et de mettre le CO₂ dans l'atmosphère, vous faites le chemin inverse en utilisant de la biomasse dont vous capturez le CO₂ de combustion pour le remettre sous le sol. Voilà, c'est ça. On le verra en détail un peu plus tard.

5. Au restaurant « Le bon développement durable », plat unique

20 milliards de tonnes de CO₂-eq pour 7 milliards d'individus, cela fait 3 par personne, pour 9 milliards, en gros 2

En l'état actuel des technologies, **l'une des choses suivantes** suffit à atteindre le « droit maximal à émettre sur une année » :

faire 15 000 km en avion (un A/R Paris-Chicago)

ou consommer de 4 000 kWh d'électricité en Allemagne, mais 20 000 kWh en France (consommation annuelle moyenne par Français : environ 8 000 kWh),

ou acheter 10 à 500 kg de produits manufacturés (en France ≈ 2 000 à 6 000 euros de produits industriels, 8 000 à 15 000 euros de services)

ou construire 4 à 5 m² de logement,

ou brûler 7 000 kWh de gaz naturel, en tenant compte des émissions amont (quelques mois de chauffage d'un logement).

ou parcourir ≈ 6000 à 8000 km en zone urbaine en voiture « moyenne » (2 fois moins en 4x4)

Source : Jancovici, 2019

Diapositive 6.

Pour vous donner une idée de ce que représente la contrepartie d'émissions divisées par trois pour 9 milliards d'individus, on peut faire une petite règle de trois.

La petite règle de trois, elle vous dit donc que 20 milliards de tonnes de CO₂ divisés par 6 milliards d'individus, en arrondissant, ça vous ferait 3 tonnes de CO₂ par personne. Et si vous divisez par 9 milliards, ce qui est plutôt la taille de la population à l'horizon de 20 à 30 ans, et bien on est plutôt à 2 tonnes de CO₂ par personne. Alors la question c'est : qu'est-ce que l'on fait avec deux tonnes de CO₂ ?

Et bien, avec 2 tonnes de CO₂, vous faites votre stage à l'étranger que la direction des études vous demande de faire, et puis le reste de l'année vous n'avez pas le droit de vivre. Vous ne pouvez pas manger. Vous ne pouvez pas parce que, là-dedans, vous avez déjà les émissions liées à l'alimentation. Donc

5. AU RESTAURANT « LE DÉVELOPPEMENT DURABLE », PLAT UNIQUE

vous ne pouvez pas manger. Vous ne pouvez pas vous vêtir. Vous ne pouvez pas acheter une brosse à dents. Vous ne pouvez pas vous déplacer. Rien. D'accord ? Vous avez pris l'avion. Terminé.

Alors vous allez me dire : « Quoi ? Comment ? » Je vous rappelle que les déplacements en avion, c'est quelque chose qui est extrêmement récent dans l'histoire des Hommes. En 1950, il y avait les boxeurs célèbres, les stars de cinéma, et les ministres qui se déplaçaient en avion. Ça s'arrêtait là.

Même l'élève aux Mines, il y a cinquante ans, il ne prenait pas l'avion. Ça n'existait pas. Mon père qui est allé comme post-doc aux Etats-Unis, il y est allé en bateau. Bon. Donc voilà c'est quelque chose qui est extrêmement récent. Un vol en avion, *crac !*, vous avez cramé votre quota. Après, c'est terminé.

Vous avez la possibilité de consommer quelques milliers à quelques dizaines de milliers... Oui ?

*** Question auditoire ***

« Si on fait plusieurs vols en avion mais sur des courtes distances, dans ce cas là, ça pollue beaucoup moins ? »

Ça pollue beaucoup plus. Si vous faites le même kilométrage annuel en plusieurs vols, c'est pire que de le faire en un seul vol. Parce que ce qui consomme beaucoup de carburant, proportionnellement, c'est le décollage.

*** Question auditoire ***

Question sur les vols en avions.

Oui. Sauf que même si vous faites 1000 km, au bout de 20 km votre avion monte au plafond des 10 000 m. Il ne reste pas à 300 m d'altitude. Oui ?

*** Question auditoire ***

« Le problème de l'aviation, ce n'est pas en soit le fait de faire 15 000 km plutôt que le simple fait de prendre l'avion en lui même ? »

Oui. Sauf que vous ne prenez jamais l'avion pour aller d'ici jusqu'à Saclay. Donc en fait, quand vous montez dans l'avion, vous savez que vous allez de toute façon faire entre 1000 et 10 000 km. C'est bien à ça que ça sert. En fait ce qui va... Oui ?

*** Question auditoire ***

« Si vous y allez en bateau pour votre post-doc au États-Unis, est-ce qu'on polluera autant que si on prenait l'avion ? »

Ça dépend quel type de bateau. Si vous prenez le Queen Mary c'est encore pire. Donc il vaut encore mieux y aller en avion. Par contre, si vous êtes le passager supplémentaire sur un cargo de bananes, c'est parfait. Non mais c'est exactement ça. Donc ça dépend. Ça dépendra à quoi sert le bateau en gros. Mais s'il

5. AU RESTAURANT « LE DÉVELOPPEMENT DURABLE », PLAT UNIQUE

sert juste à transporter des croisiéristes retraités avec un membre d'équipage pour deux passagers, etc., c'est encore pire que l'avion. Voilà, donc je continue.

Donc on a le droit de consommer quelques milliers à quelques dizaines de milliers de kilowattheures d'électricité. Alors là, on va en parler aux deux prochains cours. Évidemment, le mode de production de l'électricité conditionne très largement le quota en question.

Et du coup, ce que vous voyez ici en filigrane, c'est que, évidemment, il y a plein de gens qui rêvent d'un monde dans lequel on pourrait produire plein d'électricité décarbonée. À ce moment, on peut avoir plein de kilowattheures et on est capable de substituer plein d'usages. D'accord? On se met à faire fonctionner l'industrie, les transports, le confort thermique des bâtiments, etc., avec de l'électricité sans carbone, et on a « résolu notre problème ». On en parlera les deux prochaines fois.

Vous avez le droit d'acheter de quelques kilogrammes à quelques dizaines de kilogrammes de produits manufacturés. Avec mes 2 tonnes, là... Par exemple, avec mes 2 tonnes, vous avez le droit d'acheter quatre ordinateurs comme ça, ou quatre écrans de télévision connectés. D'accord? Donc si une année vous achetez un ordinateur et un écran de télévision, vous avez cramé la moitié de votre quota rien qu'avec ça.

Vous avez également le droit d'acheter quelques milliers d'euros de services : factures de téléphone, agios bancaires, places de cinéma... Si par exemple vous achetez quelques kilogrammes ou dizaines de kilogrammes de vêtements, tables, chaises, ordinateurs, etc., à ce moment, vous ne mangez plus, vous ne vous déplacez plus, vous ne vous chauffez plus, etc.

Vous avez le droit de vous faire construire un quart de chambre à coucher. Un mètre carré en structure béton, dans un logement collectif dans un immeuble de type « appartements », demande l'émission de 300 à 400 kg de CO₂. D'accord? Construire *un* mètre carré! Donc, avec 2 tonnes, vous en construisez 5 ou 6. Voilà, c'est l'ordre de grandeur.

Ce qui veut également dire que l'année où un ménage se fait construire une maison de 90 m², qui est la taille classique d'une maison, et bien cette année-là, le ménage a émis 35 tonnes de CO₂ au titre de la construction de son logement. Alors ces émissions sont celles des cimenteries et des aciéries qu'il a fallu faire fonctionner pour faire le gros œuvre de la maison, des briques, des tuiles, des fenêtres, du câblage électrique, etc. Et là-dedans je ne tiens pas compte de la machine à laver et de l'écran connecté que l'on met à l'intérieur.

5. AU RESTAURANT « LE DÉVELOPPEMENT DURABLE », PLAT UNIQUE

Vous avez la possibilité d'utiliser du gaz. Moins que de l'électricité, en France. Plus que de l'électricité, dans un pays dans lequel l'électricité est très carbonée. C'est pour ça que les gaziers et les électriciens se battent comme des chiffonniers en permanence.

Et enfin, vous avez la possibilité de faire quelques milliers de kilomètres en voiture. Et tout ça c'est des « ou » exclusifs. Donc si vous partez deux fois en vacances dans l'année en voiture, vous ne mangez plus, vous ne vous habillez plus, vous ne vous chauffez plus, vous n'achetez plus rien, et vous ne prenez pas l'avion pour aller faire un stage à l'étranger. Voilà. Donc ça... Oui?

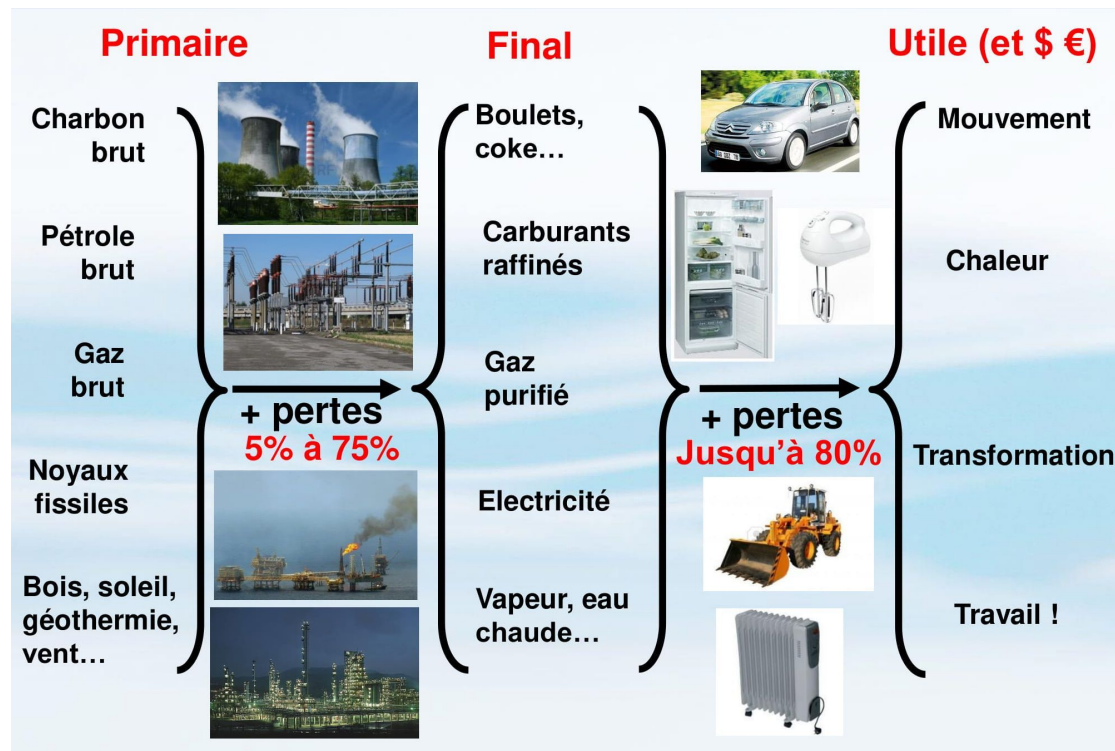
*** Question auditoire ***

« Juste pour revenir sur la question de l'avion, imaginons que je décide d'aller à Moscou en train de nuit, disons que ça met deux jours et demi, on consomme autant de CO₂... »

Oui. Beaucoup moins. Alors ça dépend de la manière dont on fait l'électricité, mais en gros un kilomètre-passager en avion c'est de l'ordre de 150 g de CO₂. Un kilomètre-passager en train en France, en fonction du fait que vous considériez l'infrastructure amortie ou non, etc., ça se balade entre quelques grammes et quelques dizaines de grammes. Mais c'est en France. Si vous allez en Allemagne, ça peut monter à quelques dizaines de grammes à cause du contenu carbone de l'électricité. Mais ça reste toujours inférieur à l'avion dans tous les cas de figure.

Donc, quand on dit « diviser par trois les émissions », bon très bien, c'est important. Ce que je viens de vous présenter, c'est pour vous faire toucher du doigt à quel point aujourd'hui nous sommes à des années-lumières, avec les habitudes que nous avons, d'avoir quoi que ce soit qui puisse ressembler à une empreinte carbone qui soit compatible avec le monde des 2 °C, qui est par ailleurs la promesse politique de tout un chacun en ce moment... C'est un tout petit sujet et j'y reviendrai à la fin de ce cours pour vous montrer quelques écarts.

6. Vous êtes plutôt final, ou plutôt utile?



Diapositive 7.

Une des manières que l'on a d'économiser de l'énergie, c'est d'améliorer l'efficacité de la chaîne énergétique, du système énergétique. Oui?

*** Question auditoire ***

Question sur les émissions de CO₂ des transports.

Non. $E = \frac{1}{2}mv^2$. Donc ça ne change pas. Donc si vous avez une plus grosse masse et une plus grosse vitesse (donc un plus gros moteur), ça consomme plus. C'est pour ça que, soit dit en passant, la tendance actuelle qui est d'alourdir les voitures et de vendre des SUV à tout le monde c'est évidemment quelque chose qui est totalement antinomique avec le fait de s'occuper sérieusement de la question climat.

Donc je revenais à ce que je disais. À partir du moment où on a envie de gagner sur la quantité d'énergie que l'on utilise, une des choses que l'on peut imaginer de faire, c'est d'améliorer le rendement, enfin la chaîne qui va de l'énergie que l'on trouve dans la nature à l'énergie qui rentre dans une machine, ou même qui nous rend un service. Alors, il y a trois termes qui sont fréquents dans le monde énergétique et qu'il faut avoir en tête.

6. VOUS ÊTES PLUTÔT FINAL, OU PLUTÔT UTILE ?

Le premier terme ou premier adjectif, c'est « primaire ». L'énergie primaire, c'est l'énergie telle qu'on la trouve dans la nature. Je vous ai dit au premier cours que, à cause de la loi de conservation de l'énergie, tout ce que l'on pouvait faire avec cette grandeur, c'était de trouver dans la nature de l'énergie déjà existante et de s'en servir à notre profit. Donc il faut qu'elle existe, cette énergie. Et donc cette énergie, encore une fois, quand elle existe, elle s'appelle « primaire ».

Alors dans l'énergie primaire, on va trouver tout ce qui brûle : charbon, pétrole, bois, gaz, etc. On va trouver la force des éléments. Par exemple la force de l'eau qui tombe, le vent qui souffle. On va trouver du rayonnement électromagnétique : le soleil. On pourrait, si on savait brancher les machines à laver sur les éclairs d'orage, trouver de l'électricité. Pour le moment on ne sait pas bien... Voilà. Donc c'est tout ce que l'on trouve dans la nature et qui est une source d'énergie possible.

Cette énergie primaire va alimenter notre système énergétique. Donc le système énergétique – que l'on appelle aussi parfois dans les statistiques « industrie de l'énergie », c'est la même chose –, c'est tout l'appareil industriel que nous avons créé, et qui ne sert à rien d'autre que d'extraire de l'énergie primaire de l'environnement et d'en faire de l'énergie que l'on appelle « finale ». C'est-à-dire de l'énergie qui va pouvoir alimenter une machine hors du système énergétique.

Alors une machine hors du système énergétique c'est quoi ? C'est un lave-vaisselle, un aspirateur, une voiture, un projecteur de cinéma ou un sonotone pour ceux qui n'entendent pas bien. Tout ça, ce sont des machines qui sont alimentées par de l'énergie qui sort du système énergétique.

Le système énergétique est lui aussi soumis à la loi de conservation de l'énergie. Donc la loi de conservation de l'énergie vous dit que l'énergie finale qui sort du système est au plus égale à l'énergie primaire. Et en fait, ce sera toujours inférieur à l'énergie primaire. Les pertes que vous pouvez avoir quand vous passez du système primaire au système final peuvent être extrêmement élevées. Et en tout état de cause, elles sont toujours supérieures à 0%.

Après, il y a une autre forme d'énergie dont on parle parfois, qui est ce que l'on appelle l'énergie dite « utile », c'est-à-dire celle qui vous rend vraiment un service.

Alors si on prend l'exemple d'un frigo, il utilise de l'électricité comme énergie finale. Par contre il a lui-même un rendement. Ce qui vous intéresse dans un frigo, ce n'est pas que celui-ci consomme de l'électricité. Ce qui vous intéresse c'est le fait qu'il extrait des calories de l'intérieur du frigo. Comme ça, vous êtes sûr que votre bière est toujours au frais. Donc l'énergie utile, dans cette his-

6. VOUS ÊTES PLUTÔT FINAL, OU PLUTÔT UTILE ?

toire, c'est l'énergie de refroidissement de la bière – très accessoirement de tout le reste de ce qui se trouve dans le frigo... Vous avez encore, dans cette histoire donc, un rendement de conversion entre énergie « finale » et « utile ».

C'est pareil quand vous avez quelqu'un qui se déplace dans une voiture. L'énergie utile, c'est soit l'énergie de déplacement du bonhomme, donc $E = \frac{1}{2}mv^2$ appliquée au bonhomme, soit, à la rigueur, $E = \frac{1}{2}mv^2$ appliquée à la voiture. C'est beaucoup moins que l'énergie finale que l'on a mis dans le réservoir de la voiture.

Alors les pertes se baladent n'importe où entre 5 et 75% pour « primaire vers final ». 75%, typiquement, c'est pour les turbines à combustion que l'on utilise pour l'hyper-pointe dans un réseau électrique et qui sont, en gros, des moteurs d'avion. Et ça, ça a des rendements qui sont de 20, 25 ou 30%. D'accord ? Alors ces turbines sont utilisées environ 200 heures dans l'année. Ce n'est pas très grave si elles ont un mauvais rendement. 5% de pertes, c'est dans les très bons cas de figure, quand vous avez, par exemple, une éolienne avec très peu de frottements, ou bien un barrage avec très peu de frottements.

Et puis, entre les deux, vous avez toute la gamme. Et dès que vous faites de l'électricité avec une machine de Carnot – donc dès que vous faites de l'électricité avec de la chaleur qui vous sert ensuite à faire tourner un alternateur – à ce moment, vous avez un rendement qui ne dépasse jamais, en cycle simple, 45%. Un tout petit peu plus quelquefois. Quand vous êtes en cycle-combiné-gaz, vous pouvez atteindre 55–60% (c'est-à-dire que vous avez deux cycles différents). Mais sur un cycle simple, vous dépassez rarement 45%. Et le rendement moyen d'une centrale à charbon dans le monde est le même que le rendement moyen d'une centrale nucléaire dans le monde. C'est-à-dire un tiers, en gros.

Dans la transformation énergie « finale » vers « utile », vous avez aussi des pertes importantes. Par exemple, dans un moteur de voiture, vous avez des pertes qui peuvent atteindre jusqu'à 80%. Vous n'avez jamais un rendement de 1. Plus vous êtes en « hors plage optimale de régime » – les moteurs sont ajustés pour des plages optimales de régime – et plus le rendement est mauvais.

Donc une façon de faire des économies, c'est de dire : « On va optimiser cette chaîne. » Ainsi, pour la même quantité d'énergie utile à l'arrivée, par exemple pour la même quantité de bière refroidie dans le frigo, on va utiliser beaucoup moins d'énergie primaire. Et du coup, on rejettera moins de CO₂ dans l'atmosphère, ce qui réduit notre dépendance aux énergies fossiles. Donc, l'optimisation de cette chaîne est un moyen d'économiser de l'énergie.

7. Prenons un exemple



Diapositive 8.

Prenons un exemple. Voilà une partie de l'approvisionnement énergétique allemand. Est-ce que quelqu'un sait ce que c'est ?

*** Réponse auditoire ***

Est-ce que vous savez quelle hauteur ça fait ?

*** Réponse auditoire ***

À peu près. Un peu moins de 150 mètres. Est-ce que vous savez retrouver où est le bulldozer sur la photo ? Exactement ! Le bulldozer... c'est le petit truc jaune qui est là. Ça c'est un bulldozer. D'accord ?

Alors ça, c'est une excavatrice à lignite qui, sauf erreur de ma part, se trouve dans la mine de Hambach près de Cologne. La mine de lignite la plus profonde en Allemagne descend à 300 m sous le niveau de la mer. C'est un truc qui fait 5 km sur 5 km. Et vous avez un truc comme ça au milieu qui vous extrait la lignite – qui est un charbon jeune, donc riche en eau et riche en cendres – qui servira à alimenter une centrale à charbon.

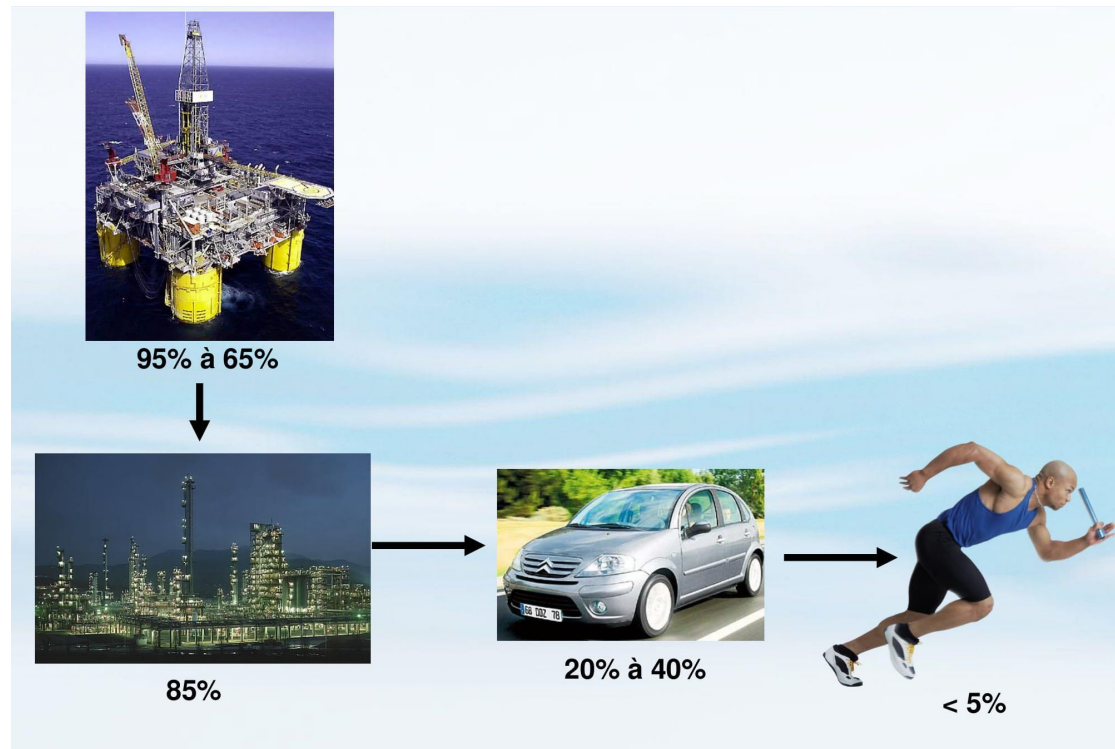
7. PRENONS UN EXEMPLE

Voici une centrale à charbon. Je vous rappelle que les tours aéroréfrigérantes ne sont pas l'apanage des centrales nucléaires. C'est juste l'apanage des centrales thermiques en bordure de rivière. Vous avez plein de centrales nucléaires en France qui n'ont pas ce genre de tour : toutes celles qui sont en bord de mer. Et vous avez plein de centrales à charbon qui sont en bord de rivière et qui ont ce genre de tour.

Pour passer de la lignite à l'électricité, vous avez des pertes importantes. Et donc vous allez retrouver simplement 30 à 45% du contenu énergétique de votre lignite sous forme d'électricité. Après, il faut transporter l'électricité jusqu'à l'endroit où elle est utilisée. Là, vous allez encore perdre de l'ordre de 8%.

Après, vous allez vous en servir pour alimenter un frigo. Alors là, en l'occurrence, il se trouve que pour le frigo... J'ai pris un exemple un peu taquin... Parce que c'est une pompe à chaleur. Donc c'est un rendement thermodynamique supérieur à 1. Et votre énergie utile, c'est ce qui va vraiment permettre de refroidir ce qui se trouvera dans le frigo. Là, vous êtes typiquement sur un exemple où, de bout en bout, le rendement peut ne pas être très éloigné de 1. Parce que le CoP (Coefficient de Performance) d'un frigo, c'est 2–3. Donc ça peut ne pas être très éloigné de 1 quand vous allez du primaire vers l'utile.

8. Prenons un exemple (bis)



Diapositive 9.

Maintenant je prends un autre exemple. On va partir du pétrole.

Donc voici un endroit où l'on récupère du pétrole de terre. Et quand vous récupérez le pétrole de terre, vous avez déjà une perte. Parce que vous avez besoin d'énergie pour pomper le pétrole et l'extraire de terre.

En fait, l'énergie qui est nécessaire au pompage du pétrole de terre, dans les mauvais cas de figure, ça atteint jusqu'à un tiers du contenu énergétique du pétrole pompé. Pour les « mauvais » pétroles de schiste, pour lesquels vous avez besoin de beaucoup fracturer, de beaucoup pomper pour *in fine* ne pas récupérer tant de pétrole que ça, le rendement est de l'ordre du tiers. Dans les sables bitumineux, au Canada, vous êtes aussi à des rendements qui sont de cet ordre-là. Vous avez besoin, en gros, de perdre un tiers de l'énergie en cours de route.

Ce pétrole sera ensuite raffiné. Le raffinage du pétrole vous fait encore perdre 15% de rendement. Parce que le raffinage c'est une distillation. La distillation,

8. PRENONS UN EXEMPLE (BIS)

c'est comme pour le cognac, il faut chauffer. Et donc vous allez à nouveau perdre une partie de l'énergie contenue dans le pétrole initial pour réaliser cette distillation et fabriquer des produits raffinés.

Vous mettrez ensuite ces produits raffinés dans une voiture dont le rendement est de 20 à 40%. Et avec ça, vous allez transporter un bonhomme. Alors, on pourrait considérer que l'énergie utile n'est pas l'énergie cinétique de la voiture mais celle du bonhomme qui se déplace. En effet, après tout, si on pouvait se déplacer à 80 km/h sans risque d'en mourir, avec une bonne carapace pour nous protéger, tout en écoutant notre musique préférée et ce, sans avoir besoin d'une voiture, et bien peut-être que l'on pourrait considérer que l'énergie utile c'est juste celle nécessaire pour déplacer nos 60, 70, ou 80 kg à 80 km/h, et pas l'énergie cinétique totale de la voiture.

Donc là, vous voyez, si vous vous arrêtez là, vous avez quand même un rendement de chaîne qui est assez bas. Et évidemment, la tentation est toujours de se dire : « Ce n'est pas la peine d'enquiquiner le consommateur qui achète une voiture. On va embaucher les bons ingénieurs des Mines qui vont bien, et on va leur demander de travailler sur cette affaire-là. Ça tombe bien ! Il y en a plein chez les affreux pétroliers, et plein chez les affreux constructeurs ! Et on va leur demander de se creuser un peu les méninges et de nous optimiser tout ça. »

Quand on voit les pourcentages, on se dit que c'est quelque chose de normal d'essayer d'améliorer tout ça. Sauf que, lorsque vous pompez du pétrole en provenance d'une roche poreuse, vous devez lutter contre la capillarité. Dans cette situation, vous ne pouvez pas obtenir un rendement de 1. Ce n'est juste pas possible. Il y a des barrières physiques.

Par ailleurs, les rendements ont plutôt tendance à se dégrader au cours du temps. Parce que les gisements en cours d'exploitation ainsi que les nouveaux gisements fraîchement découverts sont plutôt moins sympathiques que les anciens.

Vous êtes aussi limités par la quantité d'énergie qu'il faut pour distiller. Donc c'est pareil, vous ne pouvez pas être à zéro perte.

Là, vous avez une machine de Carnot. Donc c'est pareil. Vous ne pouvez pas être à zéro perte. Et vous ne pouvez même pas améliorer de manière absolument considérable le rendement des moteurs !

C'est une tentation forte quand on voit ce genre de chiffres. Mais il faut bien voir que ce sont souvent des lois physiques qui limitent, par construction, les rendements. Et ce n'est pas nécessairement très simple d'aller très au-delà.

9. Économies? Quelles économies?

J'obtiens les mêmes services avec moins d'énergie -> Efficacité

Je parcours la même distance, dans une voiture de même puissance et même capacité, mais elle consomme moins grâce à des améliorations techniques

J'ai le même espace habitable, mais la performance thermique de mon logement est meilleure

J'achète la même quantité de poulets, de chemises et de billets de cinema, mais ils ont été fabriqués avec des processus plus efficaces

J'utilise délibérément moins de services, et du coup il faut moins d'énergie pour me les fournir -> Sobriété

Je conduis moins, ou dans une plus petite voiture (moins puissante ou moins grande)

Je diminue mon espace habitable (co-location, appartement plus petit...)

J'achète moins de poulet, de crème de soins, mes enfants vont moins tard à l'école et j'accepte d'attendre à l'hôpital

J'utilise moins de services, et du coup il faut moins d'énergie pour me les fournir... mais je le fais de manière subie -> Pauvreté

Diapositive 10.

Je vais un peu élargir le raisonnement que j'ai commencé à tenir en disant : « C'est tentant de regarder comment est-ce que l'on peut optimiser les rendements physiques. »

La grande famille d'économies d'énergie, qui est celle vers laquelle vont toujours, en première approche, tous les gens qui s'intéressent à la question, c'est l'*efficacité énergétique*. Alors, l'efficacité énergétique consiste à obtenir exactement le même service en améliorant les rendements de chaîne de bout en bout.

Donc typiquement, prenez une voiture toujours identique : faisant toujours le même poids, la même puissance, et parcourant toujours la même distance. Puis demandez à messieurs Peugeot-Renault – enfin Renault-Fiat-Chrysler maintenant – et consorts de se creuser la cervelle pour que le service rendu soit le même mais en consommant moins de carburant. Et donc, à l'arrivée, dans l'hypothèse peu réaliste où je n'en profite pas pour faire plus de kilomètres et où je n'achète pas de voiture plus grosse, et bien je vais avoir le même service avec moins d'énergie. Donc ça, c'est l'efficacité.

9. ÉCONOMIES? QUELLES ÉCONOMIES?

De la même manière, dans le logement, si j'ai le même espace habitable et que je demande à une société que je ne nommerai pas d'isoler correctement mon logement, et à une autre société que je ne nommerai pas de me faire une chaudière à condensation, j'aurai le même confort thermique en ayant utilisé moins d'énergie. Alors ça aussi, c'est l'efficacité. Voilà.

Et ça marche également, évidemment, pour les produits que j'achète. Si les industriels – ces affreux industriels pollueurs – arrivent à me faire les mêmes produits en ayant utilisé moins d'énergie, et bien j'ai résolu une partie de mon problème. Je n'ai pas été obligé de toucher à ma consommation.

Une autre famille d'économies d'énergie, c'est l'exact inverse. Je ne demande pas à l'industriel de faire des progrès, et je ne demande pas à ma voiture d'être plus efficace. Je décide délibérément d'avoir moins de services. Donc de conduire moins de kilomètres, d'acheter moins de produits, etc. Et ce truc-là, ça s'appelle la *sobriété*. Donc la sobriété, en gros, c'est : je m'auto-inflige une limitation de ce que je consomme. Évidemment, si je ne consomme pas, il n'y a pas besoin de le fabriquer, et à ce moment, on a les économies d'énergie correspondantes au fait que je n'ai pas eu besoin de le fabriquer.

Il y a une variante de la sobriété, qui est celle qui arrive sans que l'on m'ait demandé mon avis. Et ça, ça s'appelle la *pauvreté*. Donc la pauvreté, c'est quelque part se voir imposer une limite qui m'empêche de consommer. Et à ce moment, évidemment, on économise l'énergie qui était nécessaire à ce que je consommais avant.

La grande différence entre la sobriété et la pauvreté, donc, ce n'est pas physique. Dans les deux cas de figure je vais moins consommer. Mais dans le premier cas, je le désire. Et dans le deuxième cas, je ne le désire pas. Donc, évidemment, dans le premier cas, ça se gère socialement plus simplement que dans le deuxième. Parce que quand je désire un truc, c'est quand même socialement un peu plus simple que quand je ne le désire pas.

Mais un truc essentiel à avoir en tête, c'est que dans les deux cas de figure, que ce soit sobriété ou pauvreté, c'est récessif. Parce que du coup on ne fabrique plus. Donc on ne produit plus. Donc le bout du PIB qui correspondait à la production disparaît. Donc la sobriété, c'est quelque chose qui marche de manière généralisée, à partir du moment où on accepte l'idée que ça va avec le fait de faire décroître le PIB.

Soit dit en passant, au moment où le PIB a été conçu, ça servait vraiment pour mesurer des chaises, des tables, des verres. Et faire décroître le PIB, ça a une toute petite conséquence de court terme, c'est que ça fait décroître la base

9. ÉCONOMIES? QUELLES ÉCONOMIES?

fiscale. Et donc vous n'allez pas voir un élu – sauf rares exceptions – qui se présente devant les caméras en disant : « C'est ça que je vais faire. » Parce que ça lui crée immédiatement un problème budgétaire de court terme qu'il ne sait pas résoudre. Donc la quasi-totalité du monde politique n'envisage absolument pas de généraliser ces deux trucs-là.

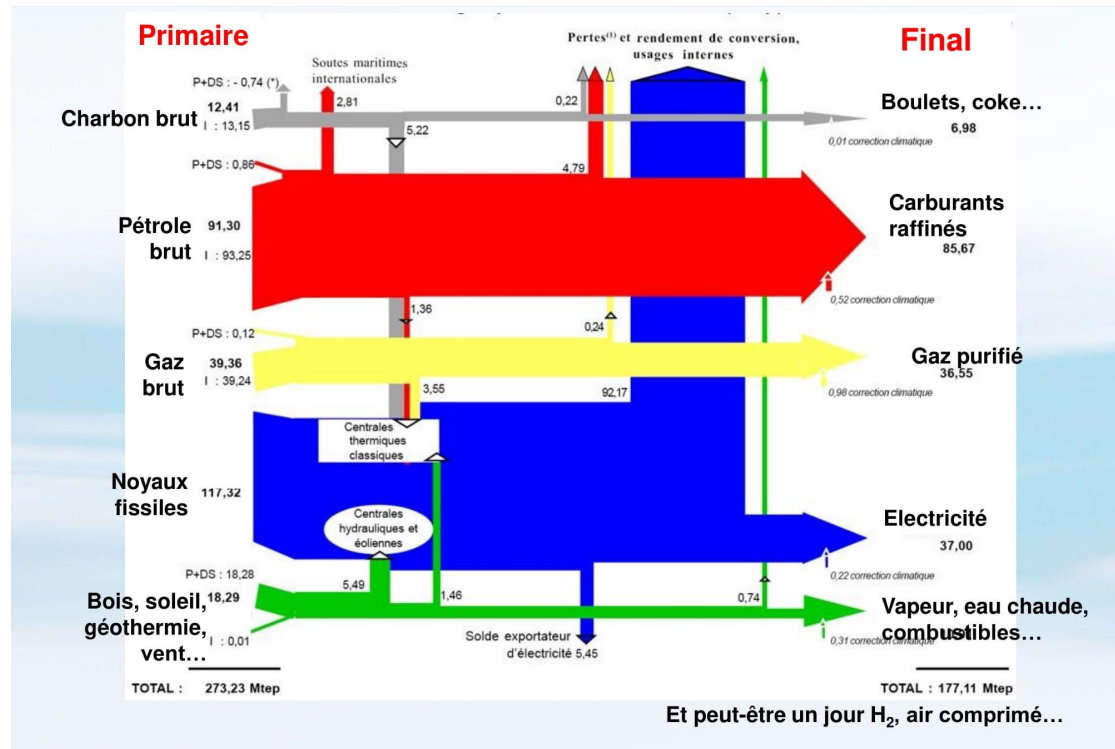
Par ailleurs, généraliser ces deux trucs-là suppose d'embarquer la totalité des consommateurs. Alors que de s'occuper de l'efficacité, ça suppose juste de taper sur la tête de quelques industriels et de quelques ingénieurs des Mines. Donc c'est quand même, en termes de population que l'on met sous contrainte, beaucoup plus petit, numériquement.

Et comme dans les démocraties chaque personne a un bulletin de vote quelle que soit sa position, en général, toute solution qui permet de minimiser le nombre de gens sur lequel vous avez besoin de taper pour régler un problème est une solution préférentielle. Donc il y a très, très peu de discours sur la sobriété et la pauvreté.

Alors maintenant, pour revenir au début de ce cours... À partir du moment où on accepte l'idée que, au pire pour des raisons géologiques, l'approvisionnement énergétique baissera de toute façon, il est assez simple de comprendre que tout ce que l'on ne fera pas au titre de l'efficacité ou de la sobriété, on le fera au titre de la pauvreté. C'est très simple, hein? Je n'ai que 3 tiroirs dans ma commode, hein? Donc, tout ce que l'on ne réussit pas à faire au titre de l'efficacité ou de la sobriété, se fera sous forme de pauvreté.

Et donc ça renvoie à la question que vous m'avez posée au début de ce cours qui est : « Où est-ce que ça se passe? » Et bien, ça se passe déjà pour les pays sous contrainte énergétique. Et ça se traduit partout où vous voyez augmenter les poches de pauvreté et d'inégalité, etc. C'est là que ça se passe.

10. Vous êtes plutôt primaire, ou plutôt final?



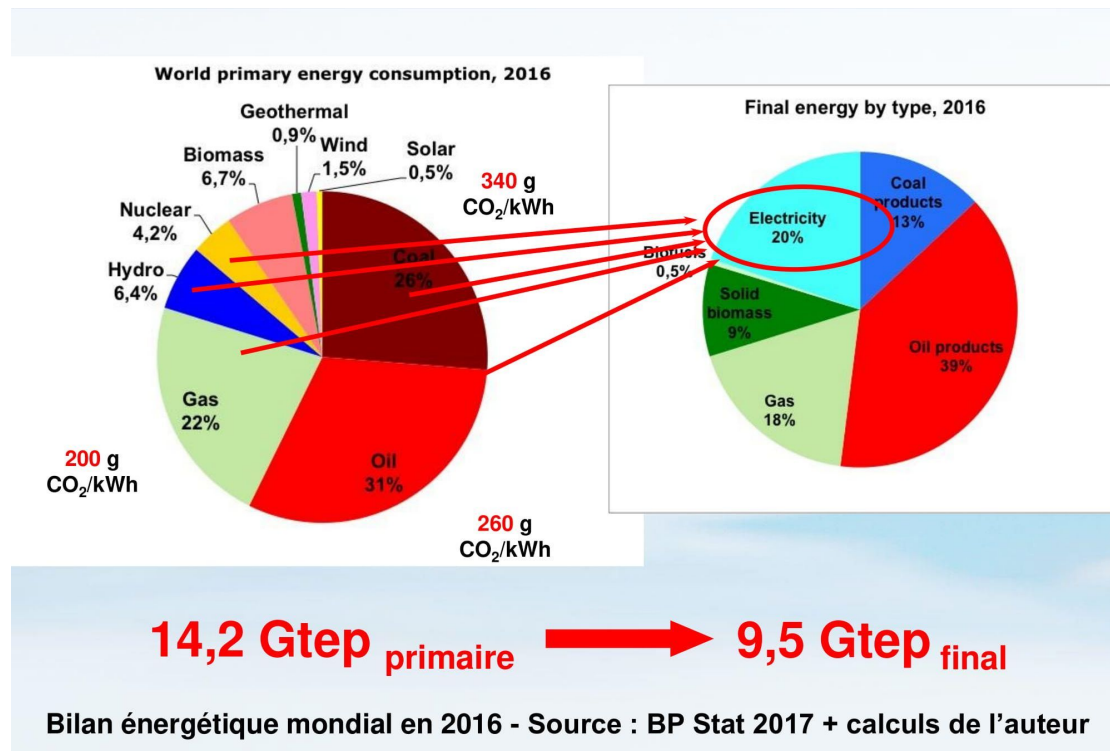
Diapositive 11.

J'aurais dû vous projeter ça après « énergie primaire / finale ».

Ici, vous avez tout simplement le diagramme « primaire / finale » de la France. Dans lequel vous voyez, ici donc les énergies primaires que l'on utilise, et ici les énergies finales que l'on utilise.

Ce que vous voyez, c'est que pour le pétrole, il y a très peu de pertes intermédiaires. Sur l'électricité primaire, par contre, il y en a énormément. Parce que c'est de la chaleur perdue. Voilà. C'est essentiellement ça l'idée. Je ne vais pas revenir dans le détail.

11. Énergie primaire = carbone, ou presque

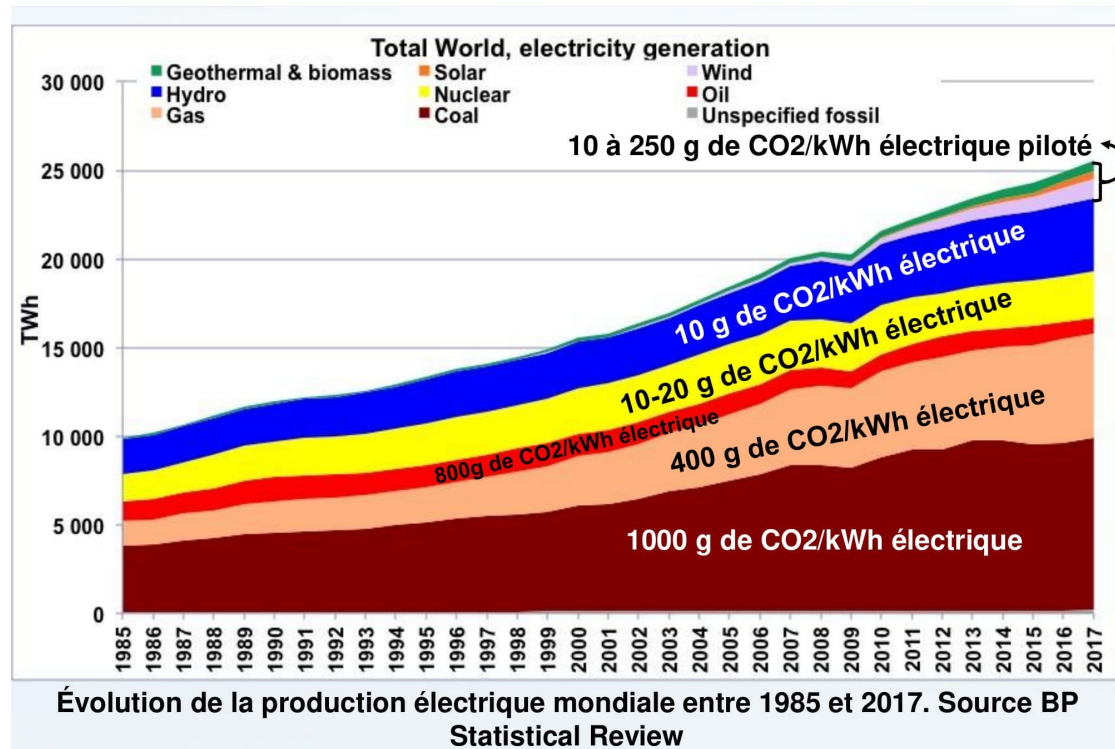


Diapositive 12.

Dans le monde, la conversion énergie primaire vers énergie finale nous fait perdre, en gros (je dis bien : *en gros*), à peu près 5 milliards de tonnes-équivalent-pétrole d'énergie. C'est-à-dire entre 4 et 5 Gtep. C'est-à-dire un gros 40% de l'énergie primaire.

Donc c'est clair que vu de Mars, vous vous dites : « Là, il y a quelque chose à gratter. » Mais j'insiste, c'est essentiellement dû à la production électrique. Et la production électrique est aujourd'hui essentiellement faite avec des combustibles fossiles. Et donc là, vous avez essentiellement la perte due au fait que c'est une machine de Carnot. Et vous ne pouvez juste rien y faire. Vous pouvez un peu monter la température de la source chaude. Voilà. Mais vous ne pouvez pas faire grand-chose de plus.

12. L'électricité sent plus fort le carbone que le panneau



Diapositive 13.

Alors voilà, ou revoilà... Je ne sais pas si je vous l'avais montré en fait, ça. Je ne suis pas sûr... Voilà, ou revoilà donc, la décomposition de la production électrique dans le monde.

Et ce que vous voyez, c'est que, aujourd'hui, l'essentiel est fossile. Vous avez ici les trois sources fossiles. Gardez en ordre de grandeur que pour faire un kilowattheure d'électricité au charbon, on émet un kilogramme de CO₂. C'est un ordre de grandeur qu'il n'est pas inutile de garder en tête. Le gaz est aux alentours de 400 g. Le pétrole, plutôt aux alentours de 800 g.

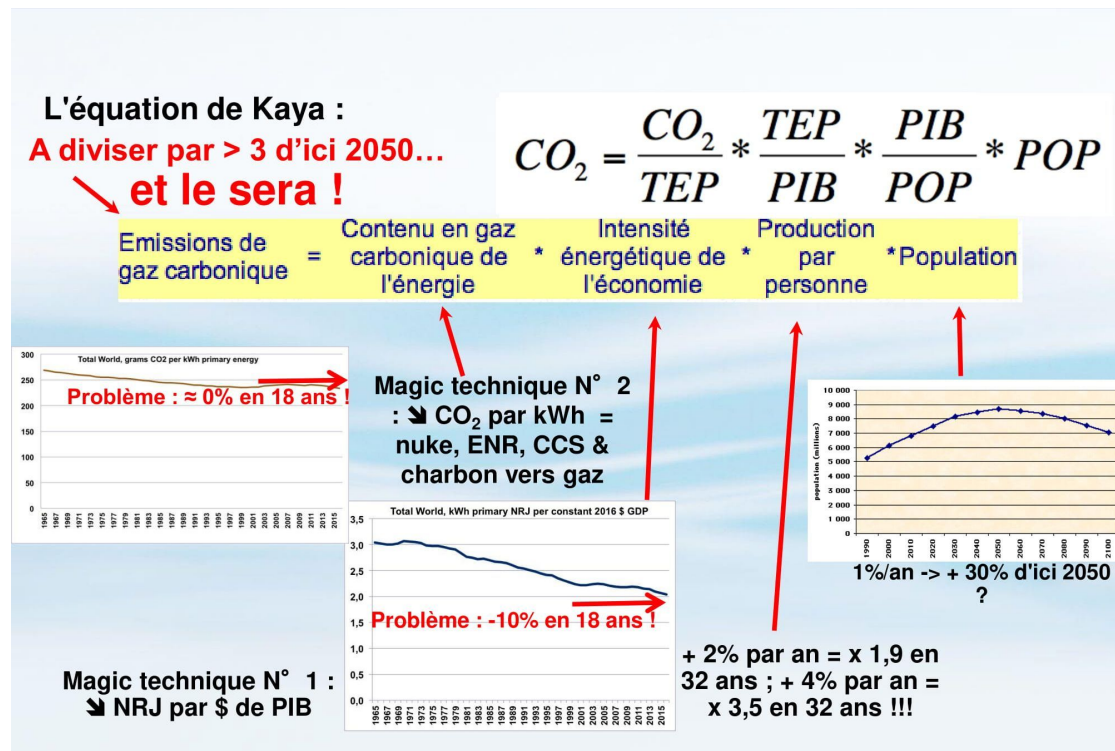
Les deux grands moyens décarbonés aujourd'hui en ce qui concerne l'électricité, c'est l'hydroélectricité et le nucléaire. Et tout en haut, là, vous avez les nouvelles énergies renouvelables. Alors qui se baladent n'importe où entre 10 et 250 g de CO₂, selon que vous êtes avec une éolienne dont l'électricité n'a pas besoin d'être stockée (ça c'est 10 g) ou avec un panneau solaire dont l'électri-

12. L'ÉLECTRICITÉ SENT PLUS FORT LE CARBONE QUE LE PANNEAU

citée a besoin d'être stockée sur une batterie particulièrement performante (et à ce moment, vous êtes plutôt à 250 g). Donc il y a une très grande plage de variation.

Ce que vous voyez ici, c'est que la quantité d'électricité qu'on utilise aujourd'hui dans le monde a considérablement augmenté par rapport à il y a quelques dizaines d'années. On est à peu près à 25 000 milliards de kilowattheures. Et ce que vous voyez, c'est que dans les nouvelles énergies renouvelables, en fait, vous avez le vent et « biogaz / géothermie » qui sont les deux modes dominants.

13. Dans l'enfer de la règle de trois



Diapositive 14.

Pour aller un peu plus loin, c'est-à-dire regarder à quel niveau il faut placer les économies d'énergie, il y a maintenant une petite règle de trois que je vous propose, qui est connue sous le nom d'équation de Kaya.

Alors ce n'est pas une anagramme de « y a qu'à ». C'est vraiment un monsieur japonais qui s'appelle KAYA. Et il a un jour posé l'équation de la baisse des émissions de CO₂ sous forme d'une règle de trois.

Alors monsieur KAYA, il dit : « On va commencer par dire que les émissions mondiales de CO₂ sont égales à elles-mêmes. » Ce que normalement, même après une soirée bien arrosée, vous devriez accepter sans trop discuter.

Et puis monsieur KAYA dit : « Je vais diviser et multiplier à droite par un terme non nul (vous savez que l'on a le droit de faire ça) qui est la quantité d'énergie que l'on utilise dans le monde. ». Et donc là, je fais apparaître un premier terme, qui est la quantité de CO₂ libérée dans l'atmosphère par unité d'énergie disponible pour moi, d'accord ? Par unité de machines en fonctionnement.

13. DANS L'ENFER DE LA RÈGLE DE TROIS

Après, je continue et je vais multiplier et diviser par la production économique. Donc ici, ce que je fais apparaître, c'est combien j'ai eu besoin de transformer l'environnement – parce que je vous rappelle que l'énergie c'est la transformation de l'environnement – pour disposer d'un dollar de valeur ajoutée. D'accord ? Pour disposer de 1 dollar de quelque chose qui est intéressant pour moi, à combien et à quelle hauteur, exprimée en kilowattheures, j'ai eu besoin de transformer l'environnement ?

Et enfin, je finis ma règle de trois en multipliant et en divisant par la population mondiale. Et donc, là, je fais apparaître la quantité de services économiques par personne fois le nombre de personnes.

Et donc là, ce que vous voyez, c'est que l'on peut dire que les émissions mondiales de CO_2 – ou de gaz à effet de serre soit dit en passant – sont le produit de quatre termes qui sont :

1. La population mondiale. Donc toutes choses égales par ailleurs, plus on est nombreux, plus on émet.
2. La production économique par personne. Donc plus on produit par personne, plus on transforme, plus on émet.
3. La quantité d'énergie utilisée par unité de production économique. Donc plus j'utilise d'énergie par unité de production économique, plus les émissions de CO_2 augmentent, toutes choses égales par ailleurs.
4. Et enfin, la quantité de CO_2 par unité d'énergie. Donc plus mon unité d'énergie est riche en CO_2 , et plus, toutes choses égales par ailleurs, je vais émettre.

Et ce que je vous ai montré tout à l'heure dit que le terme de gauche, je le mets sous contrainte. C'est-à-dire que je dis : « D'ici à ce que vous ayez mon âge, il faut que ce soit divisé par 3. »

J'ai rajouté en-dessous que ça finira de toute façon par arriver un jour, au titre de mon petit théorème de l'autre jour (qui est que la quantité de combustibles fossiles que l'on utilise sur Terre tendant vers 0 à $+\infty$, de toute façon, mes émissions de CO_2 tendront vers 0 à $+\infty$ aussi). Donc de toute façon, viendra un moment où, dans l'histoire des Hommes, les émissions de CO_2 seront pour toujours inférieures au tiers de la valeur actuelle. Je suis sûr de ça. Je ne sais pas vous dire quand, mais je suis sûr que ça arrivera.

Et maintenant, on va essayer de regarder ce que l'on peut faire sur les termes de droite. Vous êtes d'accord avec moi que si on on divise le terme de gauche par 3, il faut que je retrouve la division par 3 dans la combinatoire des termes

13. DANS L'ENFER DE LA RÈGLE DE TROIS

de droite. C'est ça le grand charme d'une égalité : c'est que ça doit rester égal des deux côtés de l'égalité.

Alors une première option est de dire : « Je vais diviser la population humaine par 3 en 30 ans. » Ça porte des noms pas très sympathiques. Donc en général il y a assez peu de candidats. Mais j'y reviendrai à la fin.

Parce que vous êtes d'accord avec moi que, si ça doit arriver de toute façon, tout ce qui n'est pas fait là [Quantité de CO₂ par unité d'énergie], là [Quantité d'énergie par unité de production économique] et là [Production économique par personne], sera fait là [Population]... On est d'accord, hein ? C'est juste de l'arithmétique... Donc tout ce qui n'est pas fait là, là et là, sera fait ici... C'est juste arithmétique...

Pour le moment, la population, on se dit plutôt : « Bon. Allez. Ça va encore augmenter. Et on est partis pour être 9 à 10 milliards sur Terre. » Bon. Très bien. Alors 9 à 10 milliards, par rapport à la taille actuelle de la population, ça fait, en gros, une augmentation de 30%. Donc, ça je dois le diviser par trois, et ça, j'ai commencé par le multiplier par 1,3. Du coup les trois termes qui restent, je dois les diviser par ? 4. On est d'accord ? Ou il n'y en a qu'un seul qui écoute ? Non, on est d'accord.

Alors la deuxième option, maintenant, c'est de dire : « Ben très bien, je vais diviser le PIB par personne par 4 dans les 30 ans qui viennent. » C'est une autre manière de faire.

Alors tous les gens qui se préoccupent de l'industrialisation du pays, des caisses de retraite, disent : « Vous n'y pensez pas ! On ne peut pas faire ça. En fait, il faut que ça augmente ! » Et alors là, les intérêts composés vous disent que, si on part sur l'idée que dans le monde – parce qu'aujourd'hui c'est ça que tout le monde a en tête – on gagne 2% par an, et bien Excel vous fait ça beaucoup mieux que moi : 1,02 à la puissance 32. Et ça vous donne une petite multiplication par 2 à l'échelle des 32 ans qui viennent.

Donc ça [Emissions de CO₂], je veux le diviser par 3, et là, je commence par multiplier par 1,3 [Population] et par 2 [Production économique par personne]. Donc en fait, le coin-là, c'est la combinatoire des deux, ça fait une multiplication par 2,5. Donc, vous êtes d'accord que si ça, je le multiplie par 2,5, et ça je veux le diviser par 3, le produit de ces deux termes [Quantité de CO₂ par unité d'énergie par quantité d'énergie par unité de production économique] je dois le diviser par ? Je crois avoir entendu 7,5.

Je vous rappelle que les règles de trois, c'est beaucoup plus utile dans la vie courante que les intégrales triples, hein ? Beaucoup plus ! C'est avec ça que vous

13. DANS L'ENFER DE LA RÈGLE DE TROIS

ne vous ferez pas estamper par votre plombier et par le marchand de voitures. Alors que les intégrales triples ne vous serviront à rien dans les deux cas de figure que je viens d'évoquer.

Donc, il faut que les deux termes qui restent [Quantité de CO₂ par unité d'énergie et quantité d'énergie par unité de production économique] soit divisés par 7,5. On est d'accord ?

Et alors j'ai une bonne nouvelle pour vous. Les deux termes qui restent : c'est votre job. C'est votre job. C'est le boulot des ingénieurs. Faites-moi des machines plus efficaces, et faites-moi une énergie plus décarbonée. Allez-y ! Au boulot, bande de fainéants ! Parce que l'on ne va quand même pas faire baisser le PIB et s'empêcher d'avoir une population qui croît. Donc faites votre job. Voilà.

Alors c'est un peu plus compliqué que ça. Parce que si je demande aux gens qui vous ont précédé d'envoyer leur CV en disant : « Qu'est-ce que vous avez fait sur ces deux termes-là ? », vous voyez que, sur l'efficacité énergétique de l'économie, en gros, on a été capable de gagner 30% en un peu plus de 50 ans. Et même si je regarde sur les 20 dernières années, et bien on est plutôt à -10%. C'est-à-dire que l'on gagne péniblement un demi-point d'efficacité énergétique par an actuellement. Sur les 20 dernières années.

Nonobstant l'explosion du « smart IT ». Qui doit rendre tout « smart » dans tous les sens : smart taxi volant, smart city, smart ingénieur des Mines, smart machin, enfin smart tout... Et mettre de l'efficacité dans tous les sens. Mais manifestement, ça ne marche pas très bien, puisque depuis que l'on a dit « smart machin dans tous les sens », l'efficacité a plutôt tendance à s'améliorer moins vite que plus vite. Hein ? Macroscopiquement.

Et donc, si je dis : ça, je dois le diviser par 7,5, ça, je gagne péniblement 30% là-dessus, ben vous êtes d'accord que j'ai encore un gros facteur 5 à trouver là-dessus. Malheureusement, ce n'est pas du tout ce qui s'est passé sur les 50 dernières années. On a gagné, en gros, 10% sur ce terme-là [Quantité de CO₂ par unité d'énergie], sur les 50 dernières années. Et depuis le « boom EnR », on ne gagne rien ! Là aussi, c'est quand même dommage !

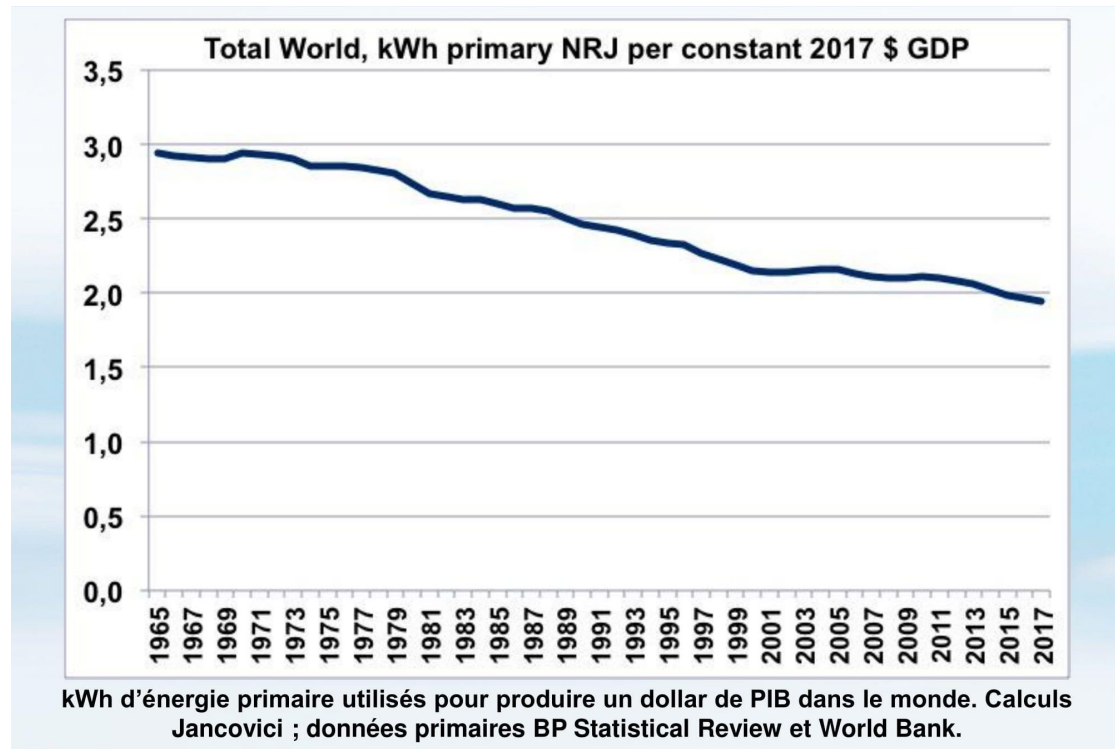
En fait, le « boom EnR » – j'y reviens une fois de plus –, c'est l'arbre qui cache la forêt. C'est-à-dire que, dans le même temps que les EnR augmentent, le charbon et le gaz continuent d'augmenter. Ce qui fait que le contenu carbone moyen de l'énergie incrémentale, et bien il est plutôt plus fort que le contenu carbone moyen de l'énergie qui était déjà employée. Le boom des EnR des 15 dernières années est allé de pair avec le boom du charbon. Ce que j'expliquais au moment du premier cours.

13. DANS L'ENFER DE LA RÈGLE DE TROIS

Donc, on a fait +10%. Alors, je le répète : à partir du moment où, soit la géologie régionale ou mondiale, soit n'importe quelle contrainte – les gens paniquent, je n'en sais rien – fait que ce terme-là devient effectivement rapidement décroissant, alors tout ce qui n'est pas pris là [Quantité de CO₂ par unité d'énergie] et là [Quantité d'énergie par unité de production économique], le sera là [Production économique par personne] et là [Population]. C'est juste des maths. C'est juste des maths. D'accord ?

Donc je vais vous le redire autrement. Les économies d'énergie : celles-là sont évidemment les meilleures. Mais il y en a une partie que l'on va devoir prendre là. C'est-à-dire la sobriété et/ou la pauvreté. Mais idéalement la sobriété. Parce que, à tout prendre, c'est peut-être mieux d'avoir un PIB en baisse plutôt que de se faire la guerre, de mourir de maladies, ou de mourir de faim. Mais cette équation, elle est là pour rappeler que l'arithmétique, malheureusement, nous dit qu'il n'y aura pas de voie où le problème est repoussé éternellement à plus tard.

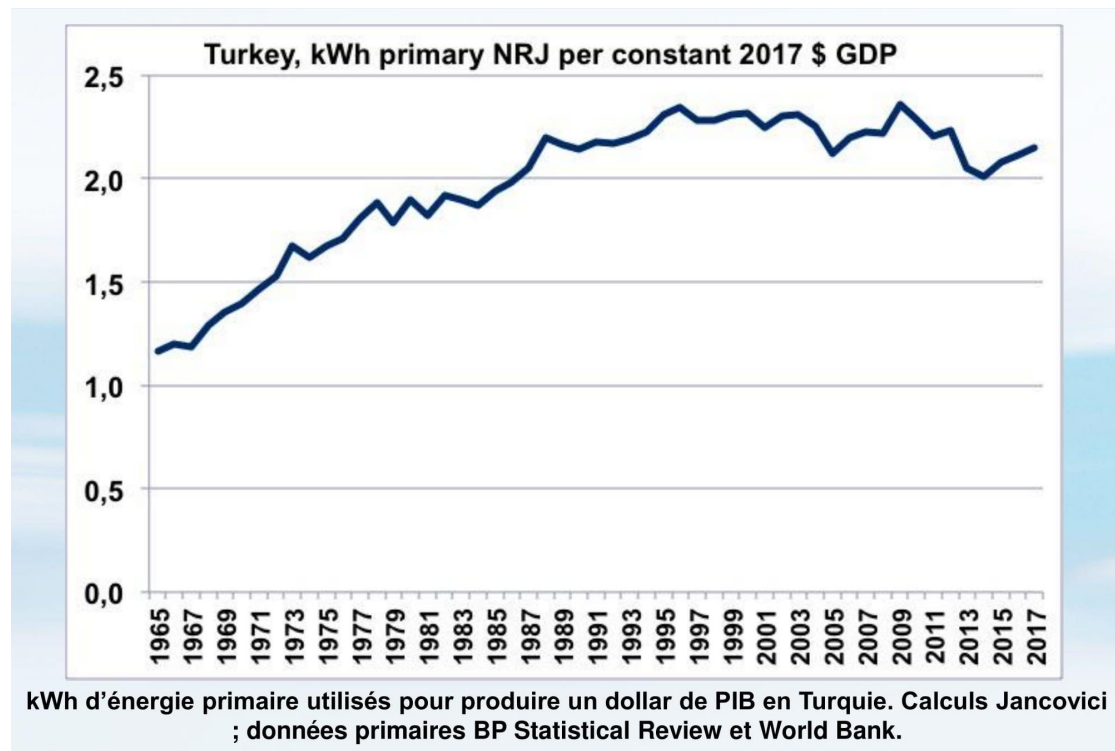
14. Soyons efficaces!



Diapositive 15.

Alors, voilà maintenant quelques zooms pour montrer qu'en plus le problème se complique encore. Donc ici, vous avez l'efficacité énergétique de l'économie pour le monde dans son ensemble. Vous voyez : ça baisse.

15. Mais pas partout...

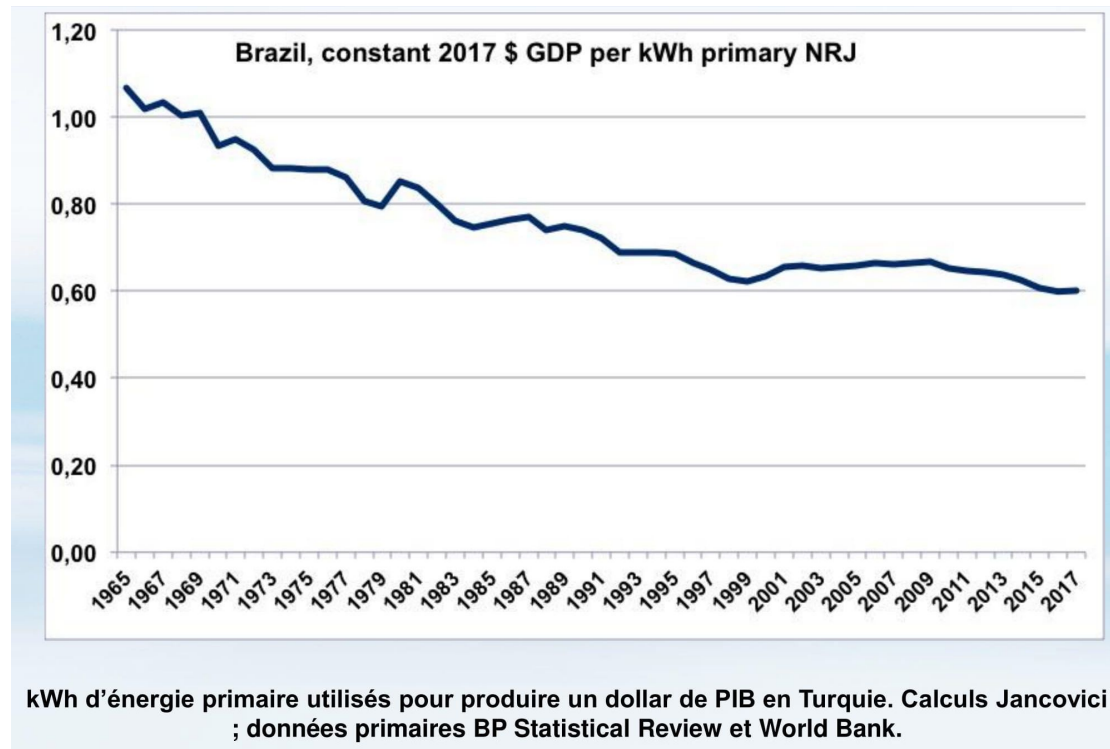


Diapositive 16.

Mais il y a des pays dans lequel ça se dégrade en fonction du temps. Ici vous avez la Turquie par exemple.

Et bien vous voyez qu'en ce qui concerne la Turquie, aujourd'hui il faut plus d'énergie pour faire un dollar de valeur ajoutée qu'il n'en fallait il y a 50 ans. D'accord ? Donc eux, ils n'ont pas amélioré leur économie. Ils ont dégradé l'efficacité énergétique de leur économie.

16. Ni là...



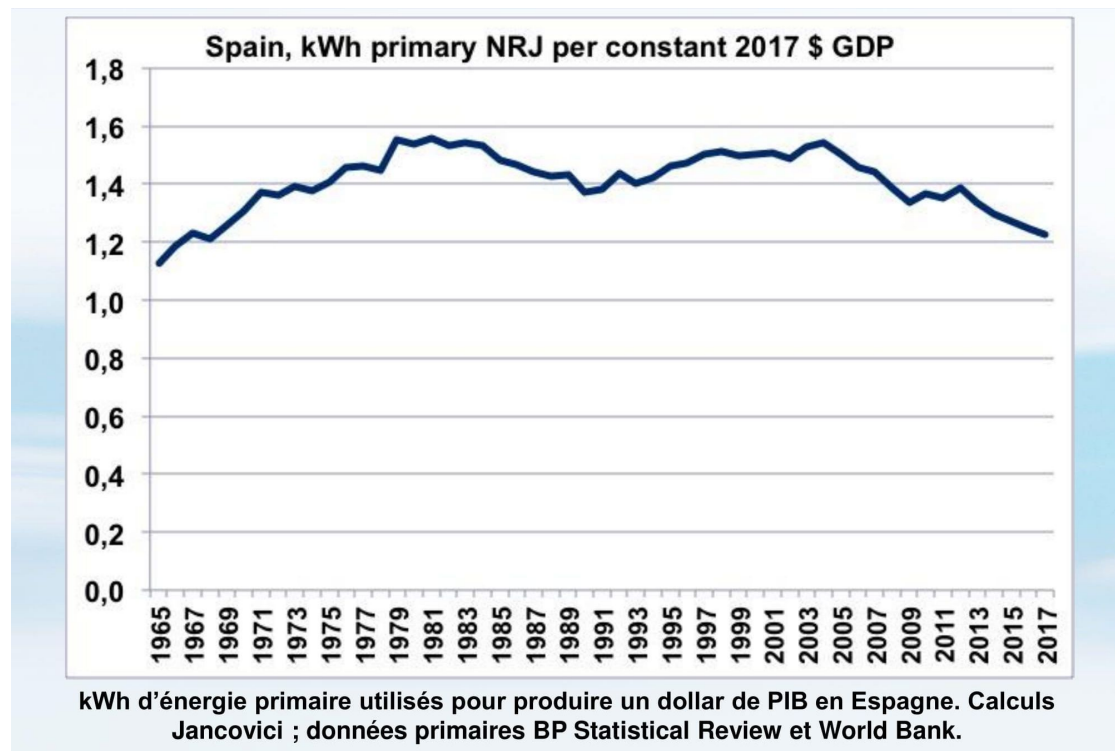
Diapositive 17.

Ici... Alors je suis désolé, j'ai pris la courbe en dollars, mais ça dit exactement la même chose.

En ce qui concerne le Brésil, vous avez combien vous faites de dollars de valeur ajoutée par kilowattheure d'énergie. Donc c'est présenté dans l'autre sens. Donc là, pour le coup, quand ça baisse, c'est que l'économie est de moins en moins efficace. Vous faites de moins en moins de dollars de valeur ajoutée avec la même quantité de kilowattheures.

Et vous voyez que pour le Brésil, c'est pareil. C'est un pays où l'économie est moins efficace aujourd'hui qu'elle ne l'était il y a 50 ans.

17. Et pas là non plus !



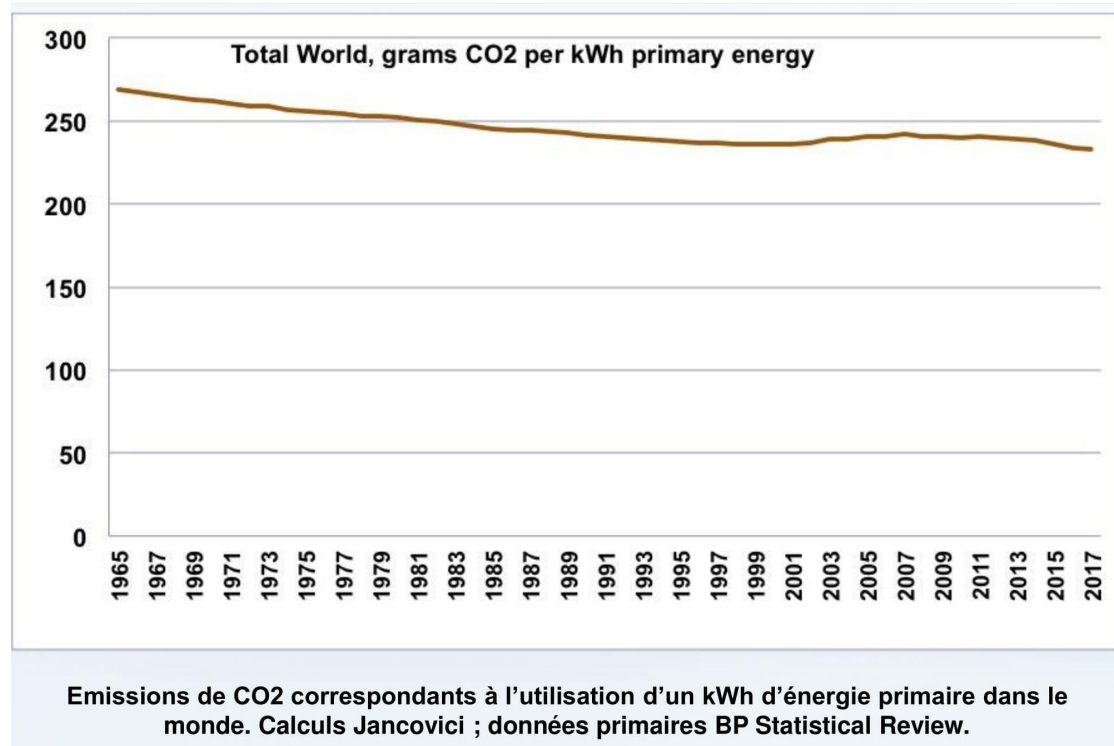
Diapositive 18.

Là vous avez un voisin immédiat qui s'appelle l'Espagne.

Et bien vous voyez, l'Espagne a une économie qui aujourd'hui n'est pas plus efficace qu'elle ne l'était il y a 50 ans. C'est devenu un peu plus efficace. Ça s'est dégradé. C'est redevenu un peu plus efficace. Ça s'est re-dégradé. Enfin voilà... C'est à peu près pareil.

Donc se dire qu'avec le temps tout devient toujours plus efficace, malheureusement, ce n'est pas aussi simple que ça. Je vous ai montré que, dans le monde, ce n'était pas vrai car l'efficacité s'était améliorée plus vite jusqu'en 2000 que après 2000. Et vous avez des pays dans lesquels, depuis que l'on regarde ce genre de statistiques, et bien, vous pouvez avoir la situation qui va dans le mauvais sens, et non pas dans le bon sens.

18. Soyons décarbonés !



Diapositive 19.

En ce qui concerne l'efficacité carbone de l'énergie... Donc je le redis : c'est combien de grammes de CO₂ vous devez mettre dans l'atmosphère quand vous utilisez un kilowattheure d'énergie primaire. Il ne s'agit pas de l'électricité là. Il s'agit bien de l'énergie primaire.

Et bien, ce que vous voyez, c'est que ça s'améliorait lentement jusqu'au début des années 2000, et depuis le début des années 2000, en gros : ça s'est un peu dégradé ; un peu amélioré ; c'est flat. Donc ça, c'est très contre-intuitif par rapport au discours que l'on entend partout qui est, encore une fois, que les énergies renouvelables sont en train de se développer partout. Et donc la logique devrait être que l'énergie se décarbone. Et ce que vous voyez là, c'est que ce n'est pas du tout le cas.

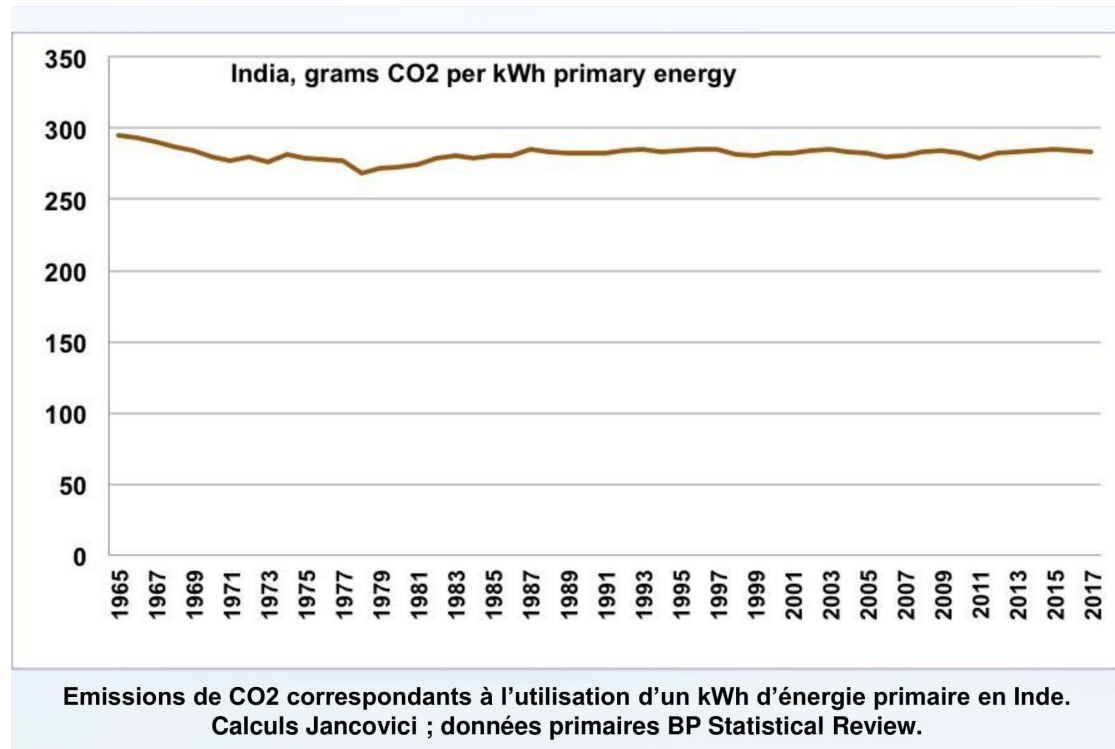
Il y a eu vraiment deux grands facteurs de décarbonation de l'énergie. Vous avez eu, pour partie, la montée en puissance du gaz, qui est la moins carbonée des énergies fossiles. Donc si vous avez le gaz qui se développe, du coup la valeur moyenne du CO₂ mis dans l'atmosphère pour un kilowattheure d'énergie primaire a tendance à baisser un peu.

18. SOYONS DÉCARBONÉS!

Et l'autre facteur explicatif, c'est le développement de l'hydro-électricité et du nucléaire. Mais il n'y a pas que ça. Il y a aussi le fait que le gaz ait augmenté.

Là vous avez le retour du charbon, et là, effectivement, le développement des EnR. Enfin vous voyez que tout ça, ça donne des oscillations autour d'une valeur qui ne bouge pas dans les grandes largeurs.

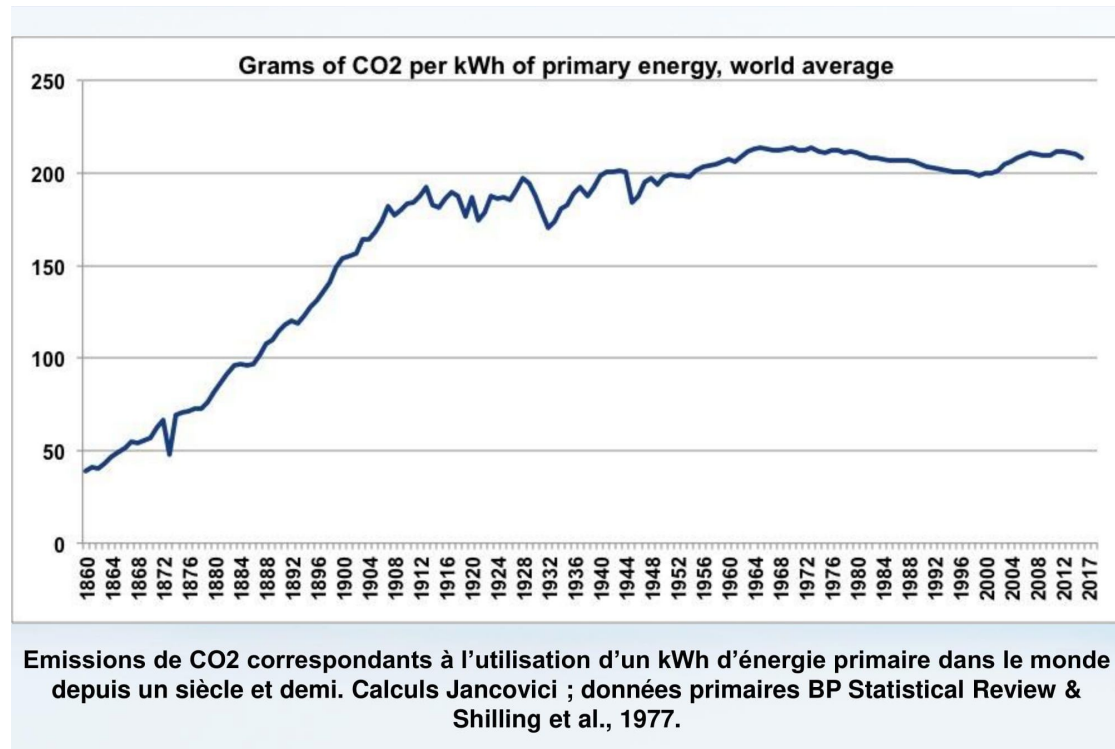
19. Mais pas partout non plus



Diapositive 20.

Et puis, vous avez des pays dans lesquels c'est très stable. Par exemple l'Inde. C'est très stable depuis des dizaines d'années.

20. Soyons... heu quoi au fait?



Diapositive 21.

Si on regarde ce paramètre sur une série beaucoup plus longue (là, en l'occurrence, un siècle et demi), c'est un petit calcul que j'ai fait à partir des séries longues d'énergie que je vous ai montrées au premier cours.

J'ai regardé comment avait évolué le contenu carbone de l'énergie utilisée par les Hommes depuis un siècle et demi. Alors là, en l'occurrence, j'ai compté la biomasse pour 0, ce qui est un peu discutable parce qu'une partie de la biomasse que l'on a utilisée était de la déforestation. Mais bon...

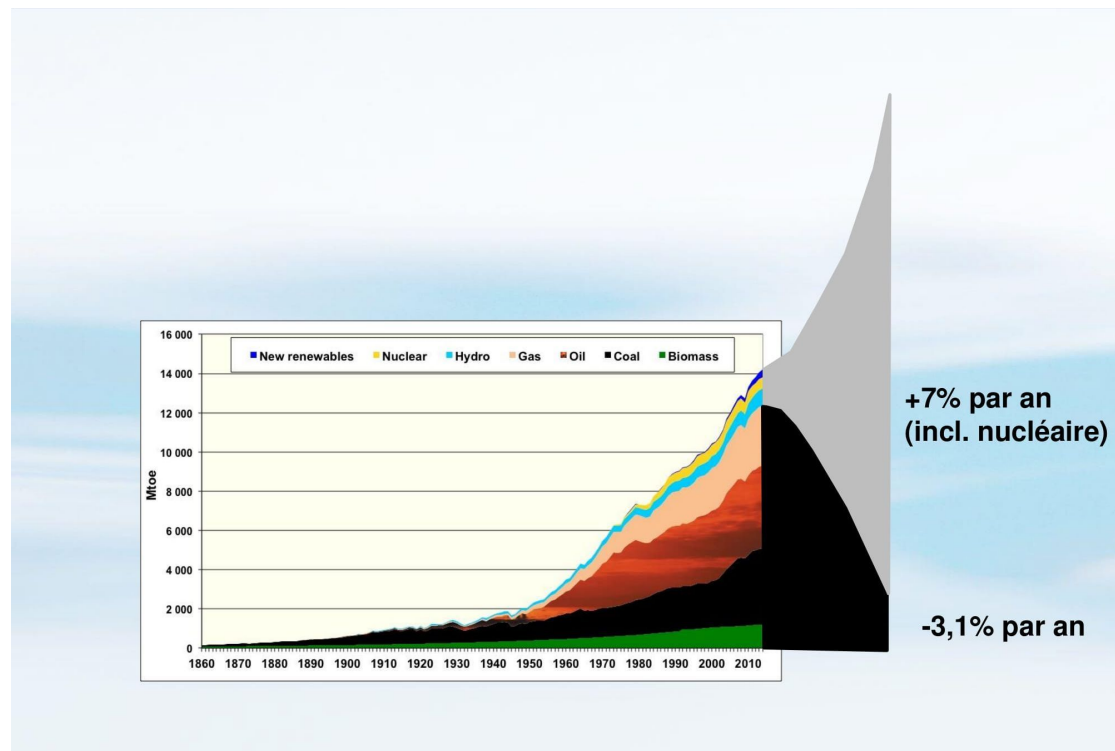
Ceci mis à part, ce que vous voyez, c'est que la révolution industrielle a précisément consisté à carboner l'énergie. C'est ça que ça a consisté à faire. On a mis plus de combustibles fossiles dans ce que l'on utilisait. Je rappelle encore une fois qu'il y a deux ou trois siècles, on était 100% EnR.

20. SOYONS... HEU QUOI AU FAIT ?

Et depuis le début du xx^e siècle, ce que vous voyez c'est que, en gros, avec des oscillations, cette valeur est restée à peu près constante. Donc il y a une forme de grande difficulté à sortir de l'énergie fossile dans la civilisation industrielle dans laquelle nous sommes.

C'est très, très difficile d'en sortir. C'est ce que vous montre cette série, donc.

21. PIB++ et CO₂--, cela devrait donner ceci



Diapositive 22.

Alors ça n'empêche pas les discours sur la décarbonation de l'économie de prendre place. Conjugués à un discours sur la croissance du PIB. Ce qui veut dire (comme le PIB c'est une transformation) : on a besoin de beaucoup plus d'énergie mais avec beaucoup moins d'énergie fossile.

Donc, en gros, pour conjuguer les deux discours qui sont à la fois : 1) l'économie doit continuer à croître, et 2) la quantité d'énergie fossile doit rapidement décroître, ça veut dire que l'on devrait passer d'une évolution historique de l'utilisation de l'énergie (qui est cette courbe que je vous ai déjà montrée) à une évolution future – d'ici à ce que vous ayez mon âge, je répète – qui ressemble à ça.

C'est-à-dire que, en bas, les combustibles fossiles se mettent à décroître de 3 à 4% par an. Alors ça, physiquement, ça ne pose pas de problème. Que ça pose des problèmes socio-économiques : tant que l'on veut, oui. Mais ça ne pose aucun problème physique de diminuer très fortement la quantité de combustibles fossiles. C'est physiquement possible.

21. PIB++ ET CO₂--, CELA DEVRAIT DONNER CECI

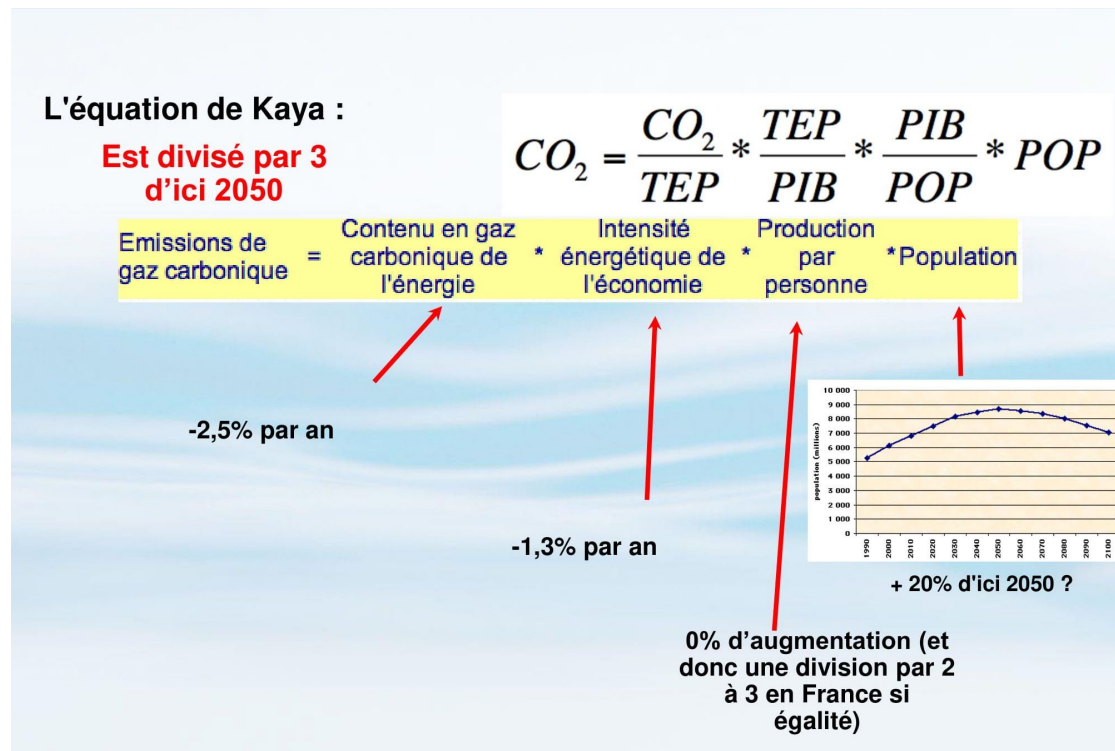
Ça [Courbe de projections futures], c'est moins sûr. Il faudrait que dans le même temps les énergies décarbonées croissent de 7% par an, tous les ans dans les 32 ans qui viennent. Sachant qu'une bonne partie de ces énergies décarbonées reste dépendante des énergies fossiles à un moment ou à un autre de la chaîne. Alors, plus ou moins fortement, évidemment, mais quand même... Oui?

*** Question auditoire ***

Question sur le nucléaire.

On verra ça pendant le cours sur le nucléaire.

22. Une autre possibilité...



Diapositive 23.

Alors maintenant, je vais vous proposer une alternative à Kaya – que je vous ai montrée tout à l'heure – qui n'est plus du tout la même.

Alors je ne tue personne. Donc on a toujours la population qui se prend 20 à 30%. Alors je ne tue personne, mais on essaye de faire en sorte que la population croisse quand même un peu moins vite. D'accord ?

C'est quelque chose qui est tout à fait faisable. Pour ça il faut que l'aide au développement des pays riches soit vraiment de l'aide au développement, et pas de l'aide, en général, au chiffre d'affaires des entreprises des pays occidentaux pour faire des routes et des ponts. Parmi les choses utiles que peuvent faire les pays occidentaux, il y a : l'éducation des femmes, le planning familial, et les systèmes de retraite, qui sont les trois grandes mesures dont on sait qu'elles ont un impact significatif sur la baisse de la natalité. Donc, au lieu de faire +30%, je fais +20%.

22. UNE AUTRE POSSIBILITÉ...

Alors là, je dis : « Allez hop ! On est content comme on est avec le PIB mondial tel qu'il est. Donc on arrête là. » Mais comme je suis un peu communiste et que je considère que l'Indien, il a le même droit au PIB annuel que le Français, évidemment, le PIB par personne en France je le divise par 3. C'est mon régime communiste.

Ensuite je mets le paquet sur les économies d'énergie au sens « efficacité ». Parce que la sobriété, j'en ai déjà pris ma part ici.

Et je mets le paquet sur la décarbonation de l'énergie. Donc effectivement je construis à tire-larigot des barrages, des centrales nucléaires, des éoliennes, des panneaux solaires, tout ce qui me tombe sous la main... Et de la capture et séquestration du CO₂. Et à ce moment, j'arrive à peu près à tenir la division par trois sur le terme de gauche. Voilà.

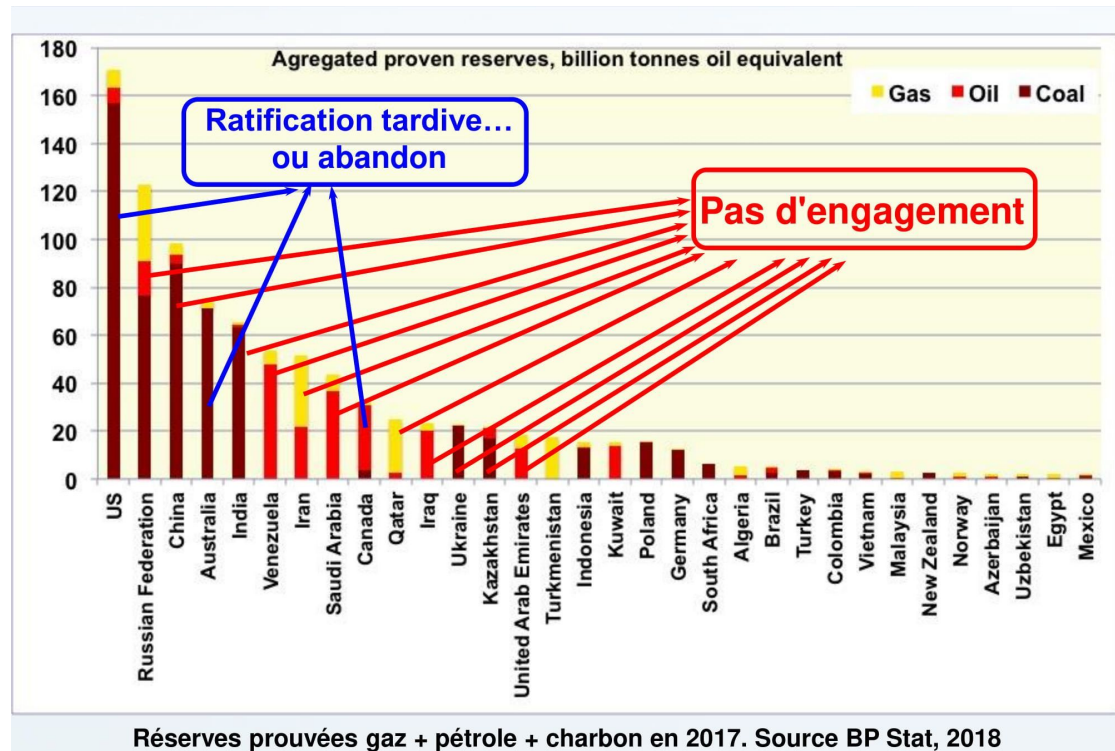
Donc vous avez une petite idée de ce que signifient les objectifs du développement durable, vus avec cette règle de trois. Je vous rappelle, soit dit en passant, que la pauvreté est un indicateur relatif. La pauvreté c'est moins que X% du revenu médian. Donc la pauvreté, c'est la part d'une distribution qui se trouve à gauche, en dessous d'une fraction du revenu médian.

J'ai deux ou trois manières différentes de supprimer la pauvreté. La première manière que j'ai, c'est de concentrer la totalité... C'est de faire un Dirac. D'accord ? Tout le monde gagne la même chose. À ce moment, je suis sûr que je n'ai pas de pauvreté puisque je n'ai personne à moins de, allez, on va dire 50% du revenu médian. D'accord ? Ils gagnent en valeur absolue toujours la même chose, mais tous les autres, je baisse leurs revenus. Vous êtes d'accord avec moi que ça baisse la pauvreté ? On est d'accord ? Mathématiquement, hein...

Donc ce que je vous présente là, c'est la seule manière que je connaisse, arithmétique, qui résolve à la fois le problème du climat et le problème de la pauvreté. C'est : j'appauvris les riches. C'est la seule manière qui fonctionne. Si j'enrichis les pauvres, ça ne marche pas. Parce qu'à ce moment, j'augmente la production, et donc j'augmente les émissions de CO₂.

Donc j'insiste sur le fait que, la seule manière de cocher toutes les cases des objectifs du développement durable, c'est... *Arithmétiquement*, je ne suis pas en train de vous dire que c'est ça qu'il faut faire. Je suis juste en train de vous dire que, arithmétiquement, le seul truc qui marche, si vous prenez ça en résolution de problème, c'est d'appauvrir les riches.

23. Et qui arrive en tête des réserves de carbone ?



Diapositive 24.

Alors voilà. Donc ça, c'était pour l'efficacité. J'y reviendrai après sur des exemples concrets.

La deuxième chose, donc, qu'il faut faire, c'est utiliser moins de combustibles fossiles. Si on veut utiliser moins de combustibles fossiles, il faut notamment demander aux gens qui détiennent aujourd'hui les réserves de combustibles fossiles de bien vouloir les laisser sous terre. D'accord? Ne pas accorder de permis d'exploration, de permis d'exploitation, etc.

Alors ici je vous re-projette un graphique que je vous avais déjà projeté, qui vous donne la hiérarchie des réserves en combustibles fossiles par pays, en ayant discriminé charbon, pétrole et gaz.

Je vous rappelle à nouveau que les premiers détenteurs de réserves liquides... Alors le Venezuela c'est un peu particulier. Parce que ce qu'il a dans son sous-sol, ce n'est pas sûr qu'ils en sortent tout ça, même s'ils le voulaient. L'Arabie Saoudite est très en dessous de la totalité des réserves de charbon du pays de monsieur TRUMP.

23. ET QUI ARRIVE EN TÊTE DES RÉSERVES DE CARBONE ?

Et maintenant, je vais vous montrer tous les pays qui étaient d'accord, en 1997, pour prendre un engagement de limitation de leurs propres émissions. Ce qui vous donne, quelque part, le consentement à agir au nom du climat des pays en question. Et donc c'est un prérequis pour le consentement à laisser sous terre les réserves fossiles dont ils disposent, d'accord ?

Alors voilà, dans tous ces pays-là, 3 pays qui ont soit ratifié tardivement, soit carrément laissé tomber leur ratification. Donc le Canada est sorti, la Russie a ratifié extrêmement tardivement, et les États-Unis ont fini par sortir. Ils n'ont jamais ratifié. Et tous ces pays-là, à cette époque-là, ils n'ont jamais pris d'engagement. D'accord ?

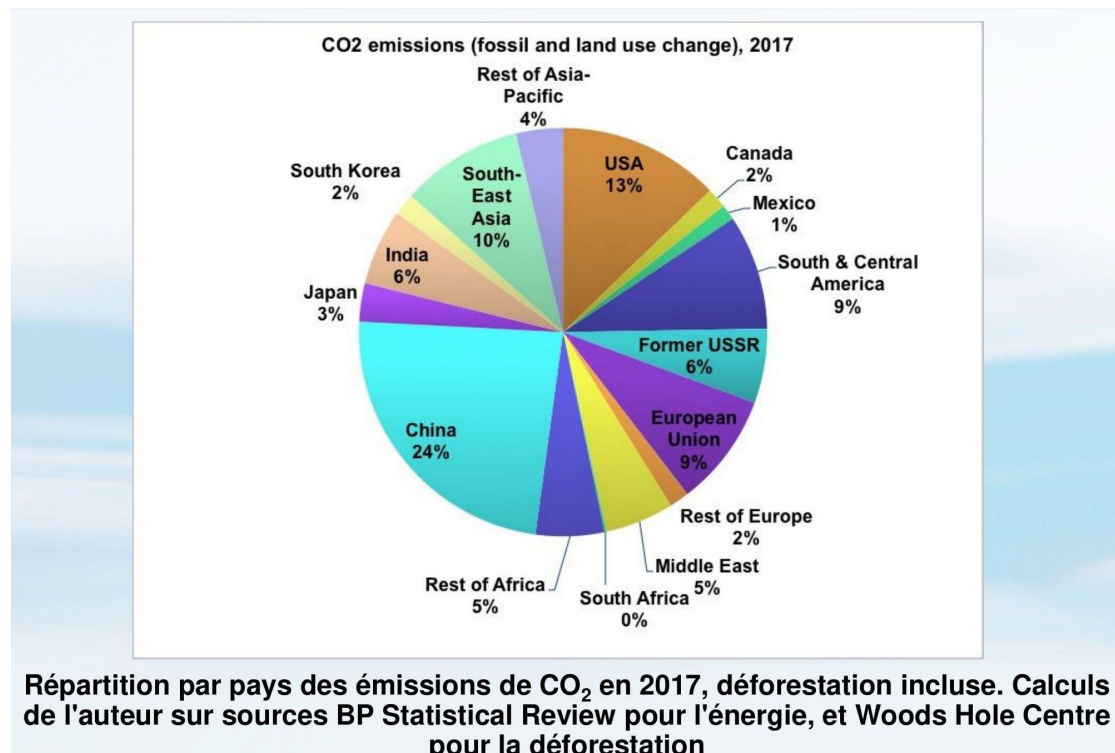
Donc, en gros, ce que vous voyez sur ce graphique, c'est que les gens qui sont d'accord pour agir au nom du climat sont essentiellement les gens qui n'ont pas de réserves chez eux. C'est essentiellement ces gens-là qui sont d'accord pour agir au nom du climat.

Et je vous rappelle également quelque chose de très important que je vous avais dit la dernière fois : le charbon, dont vous voyez qu'il représente l'essentiel des réserves extractibles restantes, est une énergie essentiellement domestique. Donc le charbon s'extrait chez soi et s'utilise chez soi.

Donc tant que les pays sont souverains, ceux qui ont du charbon, cela ne dépend que d'eux-mêmes d'extraire leur charbon et d'utiliser leur charbon pour faire de l'électricité. Ça ne dépend que d'eux. D'accord ? Il est assez peu probable que le Vietnam, ou la Thaïlande, ou le Brésil, ou l'Autriche déboulent en Chine en disant : « Vous n'utiliserez pas votre charbon. » C'est assez peu probable. Ou en Australie...

Donc, si ces pays-là veulent utiliser leur charbon, ils l'utilisent. Donc, il faut les convaincre de ne pas l'utiliser, ce qui, évidemment, n'est pas très simple.

24. Les cochons de pollueurs... sont des cochons qui votent



Diapositive 25.

Un autre élément dont il faut tenir compte – tout ça prépare encore une fois la discussion sur les mesures techniques –, c'est que l'essentiel des émetteurs – donc l'essentiel des pays qui ont pris des engagements – sont ceux qui n'ont pas les réserves. Et par ailleurs, l'essentiel des émetteurs sont des pays dans lesquels vous avez actuellement un régime dit démocratique.

Vous voyez que sur ce camembert qui représente l'ensemble des régions du monde, à part quelques exceptions... Alors la plus notable, évidemment, c'est la Chine. Et une bonne partie des pays du Moyen-Orient... Mais sinon, l'essentiel des autres pays sont des démocraties.

Alors on peut dire ce que l'on veut, qu'elles ne sont pas parfaites, etc. La notion de « démocratie parfaite », pour moi, est quelque chose qui reste un long débat. Parce qu'il n'y a pas de définition normative de ce qu'est une démocratie parfaite. Moi j'ai envie de dire : « C'est une démocratie à partir du moment où les gens votent. » Voilà. C'est ça, ma définition.

24. LES COCHONS DE POLLUEURS... SONT DES COCHONS QUI VOTENT

Qu'après on explique que le vote est truqué, mal organisé, je ne sais pas quoi, etc. Très bien. Reste à savoir ce que serait un vote non truqué ou un vote parfait. En général, la meilleure manière de traduire « ceci n'est pas démocratique », par exemple dans un débat, c'est un débat qui conclut à autre chose que mon opinion. Meilleure définition que je connaisse... Donc voilà.

Donc là, on a affaire à des démocraties, c'est-à-dire des endroits où on vote. Et une démocratie, et c'est quelque chose qu'il faut que vous ayez bien à l'esprit, et j'espère que vous êtes tous allés voter aux européennes... Donc une démocratie, ce n'est pas un système auquel vous êtes habitués dans votre vie de tous les jours.

25. L'idée qu'on se fait d'une organisation « normale »



Diapositive 26.

Dans votre vie de tous les jours, vous êtes habitués à être dans une institution dans laquelle il y a des règles, avec une autorité qui est capable d'édicter les règles, des gens derrière qui doivent respecter les règles, et des sanctions en cas de non-respect des règles.

Donc je prends l'école des Mines où vous vous trouvez. L'école des Mines a des règles. Par exemple, si vous ne passez pas un examen, vous avez zéro. Et une deuxième règle c'est que, si vous avez trop de zéros, vous n'avez pas votre diplôme.

Et comme vous n'êtes pas rentrés ici pour en ressortir sans diplôme, et bien vous faites les efforts minimum qu'il faut pour avoir votre diplôme. Ce qui fait que tous ceux qui ont le plaisir d'avoir un rattrapage me courront derrière en disant : « Est-ce que vous voulez bien me le corriger parce que sinon la direction des études me fait des ennuis ? »

Donc, c'est quelque chose qui a, encore une fois, une hiérarchie, un vrai chef qui décide, et un pouvoir de sanction.

26. Et donc pour un gouvernement, c'est pareil ?



Diapositive 27.

Alors tous, on a tendance à penser qu'un système politique, en démocratie, ça fonctionne de la même manière. Vous avez un vrai chef, il décide, et ensuite on s'exécute.

27. Une démocratie, ce n'est pas une entreprise



Diapositive 28.

Alors en fait : pas du tout.

Dans les livres que je ne saurais trop vous conseiller de lire, il y a un livre qui s'appelle *De la Démocratie en Amérique*, écrit par un génie qui s'appelle Alexis DE TOCQUEVILLE il y a maintenant quasiment deux siècles, dans lequel il décortique le fonctionnement de la démocratie.

Alors, je vous passe le premier tome, parce que dans le premier tome, il décortique par le menu les pouvoirs du juge en Amérique. Pas passionnant. Par contre, le deuxième est absolument fabuleux parce qu'il fait une lecture sociologique extrêmement fine de la façon dont une démocratie poussera les Hommes à se comporter. Et il n'y a pas une virgule à changer par rapport à ce que l'on peut observer aujourd'hui.

Donc une démocratie, c'est un système remontant. Ou plus exactement : une pyramide inversée. C'est-à-dire que lui, là, en bas en fait, il est chargé d'écouter et d'arbitrer entre tous les gens qui vont vous dire : « Voilà ce qu'il faut faire. »

27. UNE DÉMOCRATIE, CE N'EST PAS UNE ENTREPRISE

Et alors, évidemment, ils ne sont pas tous d'accord entre eux. Et tous ils votent. C'est-à-dire que tous ils décident si lui, en bas là, il sera chef ou pas chef. Ou plus exactement : s'il sera exécuteur testamentaire ou pas.

Donc contrairement à une entreprise, une institution universitaire (comme celle dans laquelle vous êtes), ou une administration, une démocratie, ce n'est pas un endroit où le chef est un vrai chef qui impose sa volonté à une population qui n'en voudrait pas. Le chef est un faux chef qui se fait élire. Donc qui a besoin d'être dans un rapport de séduction permanent avec les gens qui votent. Et qui va, en fonction de ce qui est dans l'air du temps, prendre des positions qui peuvent parfaitement changer du tout au tout en l'espace de 24 heures.

Pour ceux d'entre vous qui ont en mémoire l'histoire de la taxe carbone... Parce que c'est un tout petit peu lié à ce que je vais vous raconter aujourd'hui. Vous vous rappelez peut-être que, au moment de la mise en place de la taxe carbone, il y a eu des changements de positions en l'espace d'une semaine. À partir du moment où les Gilets Jaunes ont commencé à manifester contre le prix de l'essence – à juste titre pour partie, j'y reviendrai après –, et bien le gouvernement est passé de « nous serons inflexibles sur la taxe carbone » à « on va remettre à plus tard », puis à « on abandonne tout ». En l'espace d'une semaine.

Donc ça, c'est quelque chose qui est emblématique du fonctionnement dans une démocratie. Je le redis : l'élus est au service de ses électeurs au moins autant qu'il leur demande de s'exécuter. Je dis bien : au moins autant !

28. Il a dit quoi, TOCQUEVILLE, déjà? (en 1840)

La démocratie rendra les gens individualistes, court-termistes, jouisseurs, rouspéteurs, consuméristes.

La démocratie poussera à la consommation de masse (de produits médiocres).

Accessoirement (!) elle confèrera aux media un pouvoir central, permettra l'égalisation des droits des hommes et des femmes, verra l'avènement de la publicité...

« [en démocratie, on accordera un grand prix aux] conceptions superficielles de l'intelligence, [et peu à la réflexion] profonde et lente »

La démocratie sera donc myope, poussant structurellement les citoyens à peu se soucier des dangers de long terme

Diapositive 29.

Alors notre ami TOCQUEVILLE, qui avait passé la démocratie à la loupe, nous a dit il y a maintenant deux siècles : dans une démocratie, on considère que tout le monde est égal sur la ligne de départ.

Donc si les gens ne sont pas égaux sur la ligne d'arrivée, c'est qu'il y a une injustice quelque part. D'accord? C'est qu'il y a eu une injustice quelque part, puisque l'on était tous au même niveau sur la ligne de départ. « Machin, il a gagné plus que moi, c'est dégueulasse. Il habite une plus belle maison, c'est dégueulasse. Il a une plus grosse voiture... » Tout ça, c'est parce que, encore une fois, comme on était sur la ligne de départ au même moment et avec les mêmes droits, on se dit qu'à l'arrivée, on doit être pareil.

Donc ce que TOCQUEVILLE dit, c'est : « La démocratie rendra les gens rouspéteurs. » Voilà. Rendra les gens consuméristes : « J'ai le droit. J'ai le droit donc je le prends. » Rendra les gens court-termistes. Rendra les gens individualistes. Voilà. Tout ça, c'est écrit il y a exactement deux siècles. TOCQUEVILLE écrit donc : « La démocratie poussera à la consommation de masse. »

28. IL A DIT QUOI, TOCQUEVILLE, DÉJÀ ? (EN 1840)

La consommation de masse pousse au changement climatique. Ah. Merde. Comment je fais pour garder la démocratie sans consommation de masse ? Pas simple. Et puis, à partir du moment où vous avez le droit, comment est-ce que l'on fait pour vous enlever le droit ?

TOCQUEVILLE avait également dit que, en démocratie, il y aura un truc qui sera un lieu de pouvoir absolument majeur, c'est les médias. Alors là-dedans, vous pouvez mettre les réseaux sociaux aujourd'hui. Et que, soit dit en passant, ça sera le seul pouvoir sans contre-pouvoir en démocratie.

Il a aussi dit que, en démocratie, (c'est une variante de court-termiste) ce qui fera le buzz, c'est les petits machins superficiels. Et effectivement, le rouge à lèvres de Kim KARDASHIAN fait plus de vues sur YouTube qu'une conférence philosophique sur « où allons-nous dans les 50 ans qui viennent ? ».

Et du coup, ce que TOCQUEVILLE dit, c'est que la démocratie recèle en elle-même sa propre fragilité, qui est d'être incapable de gérer correctement les grands dangers de long terme. Et alors, évidemment, comme vous êtes tous des gens qui ont été formés à la logique élémentaire, si la démocratie n'est pas capable d'accoucher du système qui permet de gérer le problème, la solution involontaire au problème se passera de la démocratie. C'est la contraposée. Oui ?

*** Question auditoire ***

Question sur les formes de gouvernement.

Alors à l'époque, la seule alternative que TOCQUEVILLE connaissait, c'était la monarchie. Qui est une dictature patrimoniale j'ai envie de dire. Enfin, de père en fils ou de mère en fils. Et effectivement, TOCQUEVILLE disait par exemple : en monarchie, les gens sont fatalistes. Donc les gens se contentent de ce qu'ils ont. Et ils acceptent un système immuable.

Et *confer* ce que je vous avais dit à un moment, quand je vous avais reconstitué (dans le premier cours je crois) le PIB sur deux millénaires, je vous avais dit : « Tant qu'il n'y avait pas de croissance, il n'y avait pas de démocratie. » Parce que j'avais fait une petite blague en disant que ce n'était pas la peine de la promettre. Mais, de fait, ce n'était pas la peine de la promettre : il n'y avait pas d'élections. Parce qu'il n'y avait pas de démocratie.

Et ce que l'Histoire nous enseigne, c'est que des systèmes adaptés à un contexte stable – ou qui émergent, plus exactement, quand le contexte est stable – sont des systèmes qui sont significativement plus coercitifs que la démocratie. Parce qu'en démocratie, dès que vous promettez plus à l'un, vous ne savez pas promettre moins à l'autre. Or dans un monde stable, c'est ce que vous devez faire.

28. IL A DIT QUOI, TOCQUEVILLE, DÉJÀ ? (EN 1840)

C'est très difficile d'enlever, en démocratie. Vous voyez bien : « — Je vais vous enlever un peu de votre temps de retraite. — Ahhh ! » Vous en avez pour 25 ans. Donc je ne dis pas que c'est bien ou mal. Je dis juste : de fait, quand vous regardez, tout ce qui consiste à enlever est quelque-chose qui est extrêmement lent. Et c'est pour ça que les systèmes dans lesquels on a besoin d'enlever rapidement ne sont en général pas des démocraties.

Une entreprise, c'est un système dans lequel vous avez besoin d'enlever rapidement. À un moment, éventuellement, vous faites de plus mauvaises affaires, vous avez besoin malheureusement de licencier du monde. Et bien, vous ne dites pas : « On va faire des élections pour savoir qui on licencie, etc. » Non. Vous prenez une décision et vous le faites. Je ne dis pas, encore une fois, que c'est bien ou c'est mal. J'observe simplement que le système est adapté à une prise de décision plus rapide, parce que la décision plus rapide est nécessaire quand vous êtes devant la nécessité d'enlever quelque chose à court terme.

Et c'est pareil sur un bateau où vous avez un capitaine. Il ne fait pas un référendum tous les quatre matins pour savoir si on affale la voile, on envoie la voile, on va à gauche, on va à droite, etc. « Seul maître à bord après Dieu », vous vous rappelez de cette formule.

Donc quand vous êtes dans un système dans lequel vous avez éventuellement besoin d'enlever quelque chose, ou de prendre une mesure contraignante à court terme, l'Histoire vous montre que ce n'est jamais un système démocratique. Donc là, ce que je suis en train de vous dire, ce n'est pas juste pour le plaisir de philosopher. Je suis en train de dire : on a une vraie question dont, à mon avis, on n'est pas du tout assez conscient dans le débat public, qui est : la démocratie a du mal à faire accoucher d'économies, parce que les économies, c'est des contraintes. C'est là que je voulais en venir.

Sauf que si on ne sait pas gérer de nous-mêmes la contrainte, l'Histoire nous enseigne que, au moment où le contexte est ce qui nous pousse à la contrainte, à ce moment, ce n'est pas complètement sûr que ce système-là perdure d'une façon longue. Oui ?

*** Question auditoire ***

Question sur la vision court ou long terme dans les entreprises.

Alors ça dépend de l'entreprise. Ça dépend de son histoire. C'est très vrai dans les sociétés financiarisées, quand vous êtes cotée en Bourse. C'est encore plus vrai quand vous avez un patron lardé de stock-options qui ne pense qu'à partir dans les cinq ans qui viennent, en se disant : « Après je suis tranquille. » C'est beaucoup moins vrai dans les petites sociétés patrimoniales. Par exemple, si vous prenez un vigneron (qui gère aussi une entreprise), si vous avez des co-

28. *IL A DIT QUOI, TOCQUEVILLE, DÉJÀ ? (EN 1840)*

pains à l'Agro, fils de Champenois ou filles de Champenois, et bien c'est des gens qui peuvent très bien raisonner à 20–30 ans sans aucun problème.

Donc, ça dépend vraiment de la nature de l'entreprise. Vous avez plein, plein d'entreprises patrimoniales dans lesquelles les exigences de rendement sur capitaux et les horizons de temps n'ont rien à voir avec, effectivement, les grandes sociétés cotées en bourse, où là, les horizons de temps sont devenus très courts, ce qui est un vrai problème.

Je fais partie des gens qui, à titre personnel, considèrent que l'on devrait appuyer fortement sur la pédale de frein de ce côté-là. On devrait supprimer les comptes trimestriels, supprimer la cotation en continu. Enfin tous ces trucs-là feraient énormément de bien, notamment à la résolution des problèmes de long terme. Voilà, je ne vais pas me faire des copains dans les cabinets d'audit si je dis ça. M'enfin comme je n'y travaille pas, je m'en fiche. Mais très clairement, on aurait besoin de freiner fortement le système. C'est très clair.

Dernier point. En ce qui concerne la démocratie, le bulletin de vote ne dépend pas de vos connaissances préalables. Je ne dis pas, encore une fois, que c'est bien ou mal : ça fait partie du cahier des charges. Donc on ne vous fait pas passer un test de connaissances avant de vous demander votre avis sur le programme d'un candidat. Donc un candidat qui dit : « Je vais greffer un troisième bras à chacun. » On ne vous fait pas passer un test de connaissances pour savoir si c'est faisable ou pas faisable et s'il faut qu'il embauche Laurent ALEXANDRE avant de voter pour lui. Vous votez avec ce que vous savez.

29. Les médias sont (hélas ou heureusement?) in-contournables

Nature du moyen de communication	Population touchée
Conférence d'un spécialiste, 1 fois par semaine, à 100 personnes en moyenne, pendant 40 ans	40 (ans)*46 (semaines par an)*100 (personnes par conférence) = 180.000 personnes environ
Ecriture d'un livre sur le climat	Quelques milliers de lecteurs
Réalisation d'un site Internet sur le climat	Quelques centaines de milliers de visites par an ; mais quel nombre réel d'internautes ? Le dixième ?
Journal de 20h d'une grande chaîne nationale	5 à 10 millions de personnes tous les jours
Un exemplaire de quotidien	Quelques millions de personnes par jour : l'Equipe (2,5 millions de lecteurs quotidiens), Ouest France (2,2 millions), Le Monde (2,2 millions), Le Parisien (2 millions avec la diffusion de Aujourd'hui en France)...

L'électeur est concerné quand le problème est > dans les media de masse

Par ailleurs, attention à bien examiner la « logique » des comportements avec ce que les autres savent, et non avec ce que l'on sait soi-même !

Diapositive 30.

Et donc, comme l'avait dit TOCQUEVILLE, il y a quelque chose d'absolument central en démocratie, qui s'appelle les médias.

Alors à nouveau, je vous propose quelques petits calculs d'ordres de grandeur. Parce que retenez-bien ce que je vais vous dire aussi : vous allez, toute votre vie, vivre dans des mondes à l'information imparfaite. D'accord ?

Une fois que vous allez sortir d'ici, vous vivrez dans un monde à l'information imparfaite. L'univers professionnel, personnel dans lequel vous évoluerez, vous demandera de discuter avec des gens qui ne seront jamais sur la même base de connaissances que vous. Et, ou lui (ou elle), ou vous, aura de toute façon une partie des connaissances manquantes pour faire le tour du problème dont vous êtes en train de discuter.

Alors regardez les ordres de grandeur. L'information que l'on appelle « à la source »... Donc, en gros, vous allez venir en cours (ce dont je vous remercie)

29. LES MÉDIAS SONT INCONTOURNABLES

et consciencieusement et religieusement m'écouter pendant 24 heures (ce qui est beaucoup plus que ce que font la majeure partie des gens dans ce pays pour s'acculturer à ce problème-là). Ça va concerner une population de quelques dizaines à quelques centaines de milliers de personnes dans le pays.

Si je regarde la population que *moi* je vais toucher directement, ma vie durant, ça va se balader aux alentours de cinquante à cent mille personnes. Et puis, en face de ça, vous vous appelez... Le présentateur... Vous vous appelez BOULEAU... Pardon?

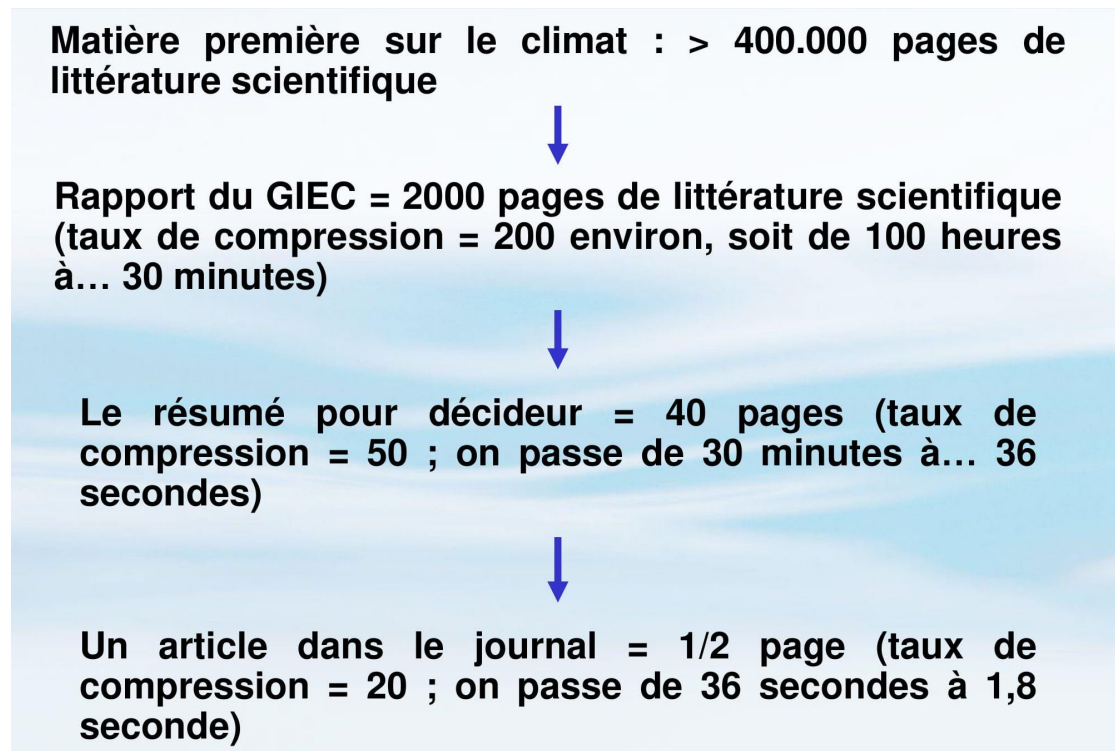
*** Réponse de l'auditoire ***

Alors HANOUNA il ne fait pas d'information. Enfin en tout cas pas les mêmes. Je pensais plutôt à Gilles BOULEAU. Ou au beau gosse de France 2 dont j'ai oublié le nom à l'instant. À ce moment, vous allez avoir quelques millions de personnes en face de vous tous les soirs. Donc vous voyez que l'on n'est pas du tout sur les mêmes ordres de grandeur.

Et en fait, en démocratie, un des sujets centraux (quand on pense que l'expertise est importante dans le débat public), c'est d'assurer le chemin qui va de en haut à gauche à en bas à droite. C'est-à-dire, comment est-ce que je fais pour que les gens qui sont des relais d'information essayent de relayer – pour en revenir à ce que j'avais dit au moment de l'énergie – ce qui est important et non pas ce qui est nouveau? Et je peux vous assurer que ce n'est pas gagné tous les jours.

Voilà. Donc il faut faire attention au fait que ce qu'il y a dans le journal n'est pas nécessairement représentatif – je le répète – de ce qui est important dans le monde. La manière dont la population va réagir à un problème donné se fait beaucoup plus au regard de ce qu'il y a dans le journal ou qui circule sur les réseaux sociaux (avec beaucoup d'audience, c'est pareil) que au regard des faits. Et, s'il y a une discordance entre les deux, c'est la représentation médiatique des faits qui gagne. Ce n'est pas les faits.

30. Dur métier que celui de journaliste



Diapositive 31.

Alors évidemment, c'est un exercice qui est compliqué.

Si je prends la vulgarisation de ce que l'on sait sur le changement climatique, la totalité de ce qui a été publié dans les revues scientifiques sur quelque chose qui a de près ou de loin un rapport avec le changement climatique induit par les Hommes, c'est des centaines de milliers de pages de littérature scientifique.

Quand j'en fais un rapport du GIEC de 2000 pages... Probablement, si il y a plus plus d'une fois les doigts de la main des élèves dans cette salle qui lisent une fraction significative du rapport du GIEC, ça sera un grand maximum. Et bien j'ai déjà opéré un taux de compression de quelques centaines, vous voyez, entre toute la matière disponible et un rapport de 2000 pages.

Si je passe au résumé pour décideurs, que seule une toute petite partie des décideurs vont lire... Je ne sais pas si vous avez vu, il y a une vidéo qui tourne sur YouTube où il y a un étudiant Belge qui interpelle des politiques – en Bel-

30. DUR MÉTIER QUE CELUI DE JOURNALISTE

gique, ça vaut mieux – et qui demande aux députés – je crois que ce sont les députés qui sont là : « Qui d’entre vous a lu le dernier résumé pour décideurs du rapport 1.5 du GIEC ? » Il y a entre zéro et une main qui se lève, je crois.

*** Question auditoire ***

Question sur le rapport du GIEC.

Oui. Enfin, il y a une question de traduction. Normalement ils savent tous lire l’anglais, ou à peu près. Ou bien ils sont Français et ils peuvent lire en français, ou bien ils sont flamands et ils parlent tous anglais. Presque. Donc de toute façon, il y a un vrai problème. Même en France. Vous posez la même question aux députés français, vous auriez 3 mains qui se lèvent. Et pourtant, vous avez rajouté un taux de compression de 50 par rapport à l’information disponible.

Et quand vous en faites un article dans le journal, en gros, vous essayez de faire passer des centaines d’heures de cours en une demi-seconde. Donc vous avez aussi un énorme sujet lié au fait qu’une information courte est une information incomplète par construction.

31. Parlez-moi de transparence!

Le lecteur/auditeur/télespectateur ne saura jamais :

Pourquoi ce sujet et pas un autre

Pourquoi la presse est allée voir Dupont et pas Durand

Si les propos tenus ont été correctement interprétés

**Si le/la journaliste avait un parti pris avant le tournage
(nous en avons tous, tout le temps)**

**Pourquoi « on » a sélectionné ceci et pas cela dans les
propos enregistrés ou notés**

Si l'intéressé(e) a relu son interview le cas échéant...

Diapositive 32.

Bon après, pour la petite histoire, je rappelle également qu'un média est une entreprise humaine comme les autres – comme les autres. Donc il n'y a ni plus ni moins de rigueur dans un média qu'il n'y en a ailleurs. Donc quand vous lisez un article dans le journal, ou que vous voyez un truc à la télé, vous ne savez pas pourquoi c'est ça plutôt qu'autre chose. Parce qu'il y a plein de trucs importants dans le monde en permanence. Pourquoi est-ce que l'on a interviewé machin et pas bidule? Dans ce qui a été dit, est-ce que l'on a retenu correctement ce qui a été dit?

Alors je vais vous donner quelques exemples. Quand il y a un sujet... Alors ce que l'on appelle un sujet, c'est la partie reportage dans un journal télévisé. Vous savez, dans un journal télévisé, n'importe quel sujet, là pour le coup, fait 1 min 30 à 2 min. On parle de je ne sais pas quoi... Tiens! Un exemple récent : des fraises bio sous serre. Le truc c'est 2 min. On va interviewer une ou deux personnes, pendant ces 2 min, que vous allez voir à l'écran 20 s.

31. PARLEZ-MOI DE TRANSPARENCE!

Est-ce que vous savez quel est le temps d'interview pour arriver à ces 20 s ? En général une demi-heure. Qui décide de ce qu'il va y avoir dans les 20 s en question ? Pas la personne interviewée, ça je peux vous le dire. C'est le journaliste qui interviewe, ou la journaliste qui interviewe, qui décide de ce qu'il va y avoir dans les 20 s retenues.

Donc la personne qui est interviewée ne décide pas de ce qui lui semble le plus important si on ne retient que 20 s. C'est le journaliste qui décide. Vous ne le savez pas ça. Et le présentateur ne vous le dira pas. Il ne vous dira pas avant chaque sujet : « Et je vous rappelle que ce qui apparaît à l'écran, c'est le journaliste qui a décidé, et on ne sait pas si la personne interviewée considère que c'est le plus important ou pas. » Voilà.

Bien évidemment, le système est asservi. C'est-à-dire que, au moment où les gens rentrent en fonction dans la presse, et bien ils ont un avis et ça va évidemment conditionner la façon dont ils vont traiter les sujets. Voilà. Donc la raison pour laquelle j'ai déjà dit plusieurs fois... Et je le redis : le journal n'est jamais une source opposable. Et je maintiens : le journal n'est jamais une source opposable.

Donc le journal, ça vous sert à vous donner une première information. Si vous voulez mettre en avant cette information dans n'importe quel processus dans lequel vous avez besoin de quelque chose de fiable et vérifié, vous êtes obligé d'aller regarder par vous-même derrière. D'aller retrouver l'information à la source. De vérifier que cette information à la source elle-même est à peu près crédible, etc. Vous ne pouvez jamais prendre...

Je vais vous le dire autrement : un journal c'est la fin d'un téléphone arabe. Vous avez tous joué au téléphone arabe quand vous étiez petits ? Qui dans la salle a déjà joué au téléphone arabe en étant petit et n'a jamais vu la moindre distorsion – jamais, jamais – entre le début de la chaîne et la fin ? Ben voilà. Vous savez pourquoi il ne faut pas croire un journal. C'est la fin d'un téléphone arabe dont vous ne connaissez ni le nombre de maillons intermédiaires, ni la qualité de transmission entre chaque maillon.

32. Moins de GES, revenons à la théorie (simple!)

Pour émettre moins de gaz à effet de serre, il y a deux moyens :

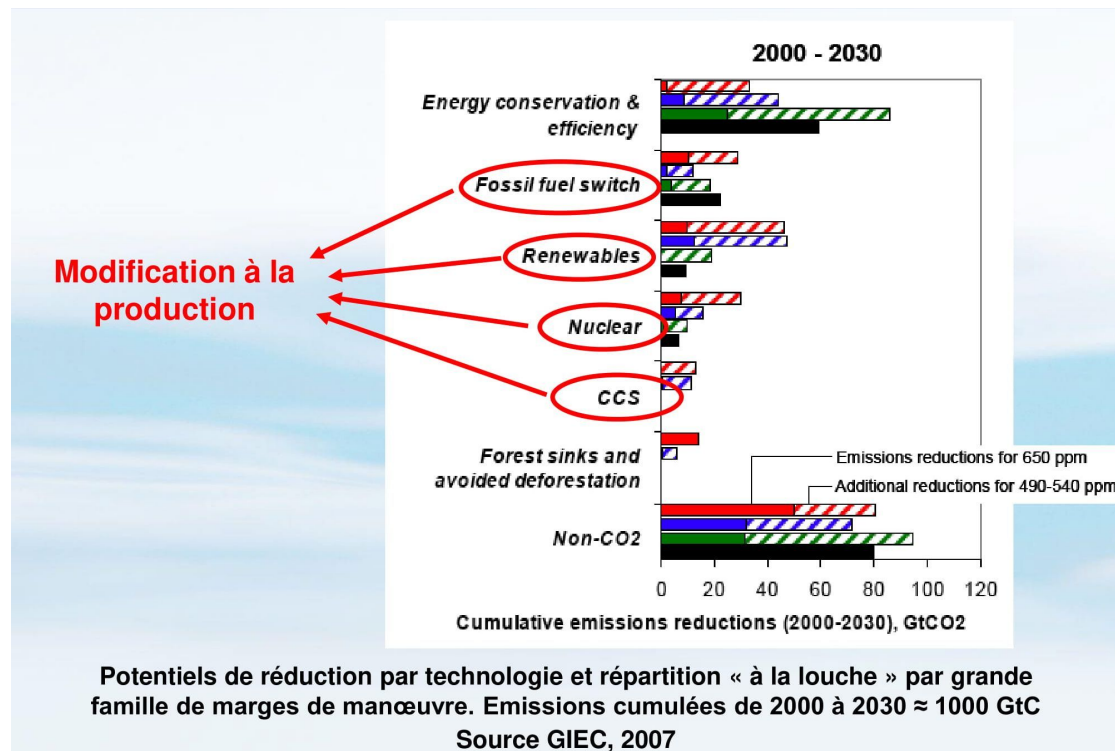
**Basculer, « toutes choses égales par ailleurs », sur des énergies émettant moins de CO₂ ou pas du tout
-> **transition charbon vers gaz, capture du CO₂, renouvelables, et nucléaire(s)****

**Utiliser, à mix énergétique constant, moins d'énergie
-> **économies d'énergie****

Diapositive 33.

Maintenant, je vais revenir un tout petit peu à la technique. Je vais revenir un peu à la technique, et donc avant de parler des économies d'énergie, je vais parler des économies de CO₂, avec la capture et séquestration du CO₂ (qui est l'une des manières d'économiser de l'énergie). Donc là, je vais encore une fois faire un peu de segmentation.

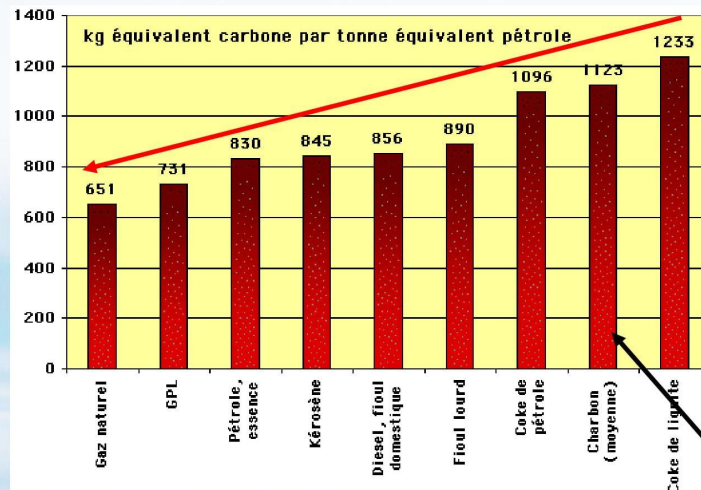
33. Moins de CO₂, revenons à la théorie (simple!)



Diapositive 34.

Ce graphique est juste là pour rappeler que dans les scénarisations qui sont faites sur la part « économies d'énergie » *vs* « décarbonation de l'énergie » dans les scénarios « bas carbone », en gros, c'est du 50/50. C'est-à-dire dans les trajectoires qui sont faites en disant « on va tenir les 2 °C en baissant les émissions suffisamment », en gros... Non, pardon, ce n'est pas du 50/50, c'est plutôt du 30/70. C'est 30% sur les économies d'énergie, l'efficacité énergétique, et c'est 70% sur renouvelables, CCS, et nucléaire. En gros, c'est ça les scénarios qui sont faits.

34. Moins de CO₂, on commence par le plus facile (ou presque)



Pas de chance : les grosses réserves sont là !

Source Bilan Carbone, Ademe

Diapositive 35.

Alors, une première manière de décarboner de l'énergie, c'est tout bêtement de rester dans les énergies fossiles, et de passer du charbon au gaz.

Ici vous avez les émissions de gaz à effet de serre... Alors en l'occurrence, elles ne sont pas en CO₂, elles sont en carbone. Il faudrait que je pense à changer ce graphique. Donc, en gros, c'est quatre fois moins. Mais peu importe, c'est la hiérarchie qui compte. Et vous voyez que quand on passe du gaz au charbon, en gros, on gagne un facteur 2 en ce qui concerne les émissions de combustion. Et donc, partout où j'ai du charbon, si je le remplace par du gaz, toutes choses égales par ailleurs, je baisse les émissions de CO₂.

Soit dit en passant, il y a un exemple emblématique de pays qui a baissé ses émissions de CO₂ sur les dix dernières années en faisant ça. C'est? Non, pas l'Allemagne, non. Le pays qui est pris comme l'emblème de l'anti-écologie dans le monde? Les États-Unis!

34. MOINS DE CO₂, ON COMMENCE PAR LE PLUS FACILE (OU PRESQUE)

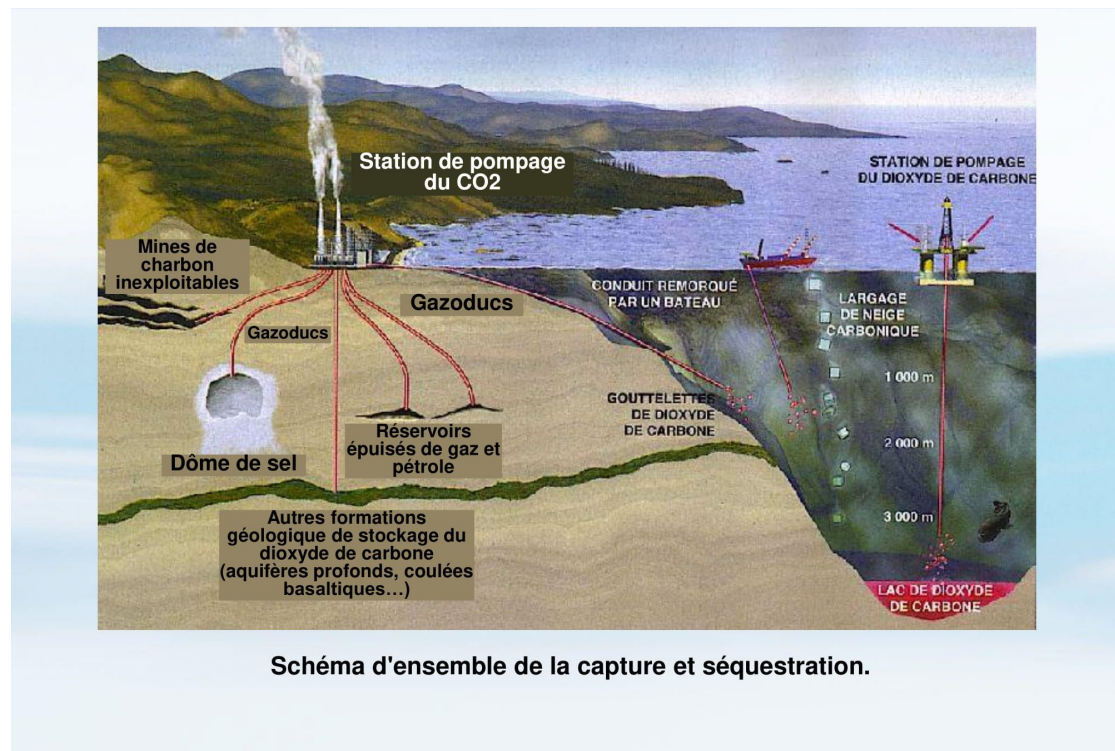
Les États-Unis ont très fortement baissé la consommation de charbon dans la production électrique, qu'ils ont remplacé pour l'essentiel par du gaz. Et c'est dû au fait que, avec l'essor du gaz de schiste aux États-Unis, le prix du gaz s'est effondré. Et du coup, c'est devenu plus rentable pour les électriciens d'utiliser du gaz que du charbon. Donc, ils sont passés du charbon au gaz. Et ça a contribué de manière significative à la baisse des émissions de CO₂ des États-Unis sur les dix dernières années.

Alors, en Europe, c'est la raison également pour laquelle les gaziers sont très allant sur l'idée d'avoir un prix du CO₂, dont je vais vous parler dans pas longtemps aussi. Parce que si vous mettez un prix du CO₂ sur la production électrique, ça pénalise l'électricité au charbon (1 kg de CO₂ par kilowattheure électrique) par rapport à l'électricité au gaz (0,4 kg = 400 g de CO₂ par kilowattheure électrique). Et donc ça permet le basculement du charbon vers le gaz.

Or les gaziers (qui sont aussi des pétroliers, soit dit en passant), ils vendent du gaz mais ils ne vendent pas de charbon. Donc c'est la raison pour laquelle le patron de Total, par exemple, il y a un an et demi, a fait des grandes sorties dans la presse. Parce que Total produit plus de gaz que de pétrole, pour ceux d'entre vous qui ne le savent pas. Donc le patron de Total – qui vient de cette noble institution, soit dit en passant – a fait des grandes sorties dans la presse en disant : « Il faut un prix du CO₂ sur la production électrique. » Et il a même très justement dit : « Il faut que ce soit 30 euros la tonne. » Parce que 30 euros la tonne, c'est le prix qui fait basculer économiquement du charbon vers le gaz.

Et c'est effectivement un moyen de diviser les émissions de la production électrique par 3, si elle est faite au charbon initialement. Ça reste fossile, mais c'est un moyen de décarboner l'énergie. Alors, c'est un moyen, sauf que pas de chance, les grosses réserves de carbone sont du côté des trucs très carbonés. Donc c'est une marge de manœuvre ; on peut s'en servir ; ce n'est pas idiot, transitoirement. Transitoirement. Définitivement : évidemment, non !

35. On produit le CO₂, mais on le met dans un trou

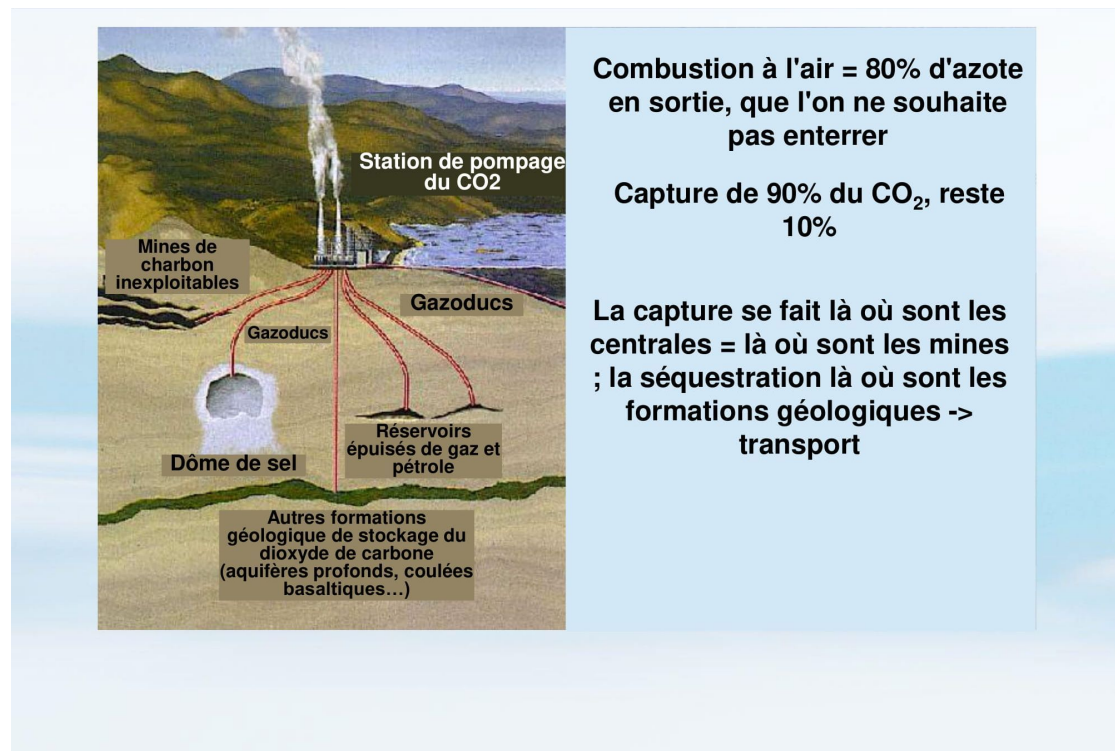


Diapositive 36.

Après, on peut séquestrer le CO₂. Alors, séquestrer le CO₂, ça veut dire le capturer là où il est émis – d'où *capture et séquestration* – et ensuite le stocker dans un endroit d'où il ne sortira plus – ou du moins plus avant que les Hommes meurent (et après il fait ce qu'il veut).

Alors, dans les endroits où on pense stocker ce CO₂, vous en avez sous terre et sous l'océan. Sous l'océan, l'idée c'est de le mettre sous forme supercritique et de le stocker... De faire des lacs de CO₂ au fond de l'océan. Alors, ça c'est quand même une idée que, maintenant, beaucoup de gens ont abandonnée. Donc on oublie.

36. Attraper (rien que) le CO₂, 1^{ère} difficulté



Diapositive 37.

Et par contre, on pense pouvoir en mettre sous terre dans des endroits qui sont des réservoirs d'hydrocarbures épuisés. Donc avant, on avait des roches poreuses dans lesquelles il y avait du pétrole ou du gaz. Il n'y a plus le pétrole ou le gaz, donc il y a de la place. Et à cette place vous mettez du CO₂.

Alors c'est d'autant plus intéressant de mettre du CO₂ là-dedans que, en plus, ça vous permet de lessiver le pétrole qui y reste. Donc, aux États-Unis, vous avez depuis très longtemps un réseau de gazoducs en surface qui transportent du CO₂ qui sert aux pétroliers. Le CO₂ est un produit commercial aux États-Unis, qui sert aux pétroliers à lessiver les réservoirs de pétrole pour faire mieux sortir le pétrole. D'accord ?

Alors évidemment, vous stockez du CO₂, mais dans le même temps, vous faites ressortir des combustibles fossiles qui vont réémettre du CO₂. Mais par contre, si vous voulez juste mettre du CO₂ sans faire ressortir du pétrole, vous pouvez le faire dans les réservoirs d'hydrocarbures épuisés.

36. ATTRAPER (RIEN QUE) LE CO₂, 1^{ÈRE} DIFFICULTÉ

Vous le pouvez également dans les aquifères salins profonds. Sous terre, il y a en général de l'eau un peu partout. Et donc, quand vous avez un aquifère, typiquement du sable imprégné d'eau, et bien ce sont des endroits où vous pouvez aussi injecter du CO₂. Vous pouvez également injecter du CO₂ dans les coulées basaltiques. Enfin voilà, vous avez un certain nombre d'endroits où vous pouvez mettre du CO₂. C'était quoi la question ?

*** Question auditoire ***

Question sur l'utilisation du CO₂ pour la production d'énergie.

Bien sûr que si. On peut le transformer et le réutiliser. Mais, à ce moment, il faut casser l'énergie de liaison C—O, et donc vous avez besoin de plus d'énergie pour casser l'énergie de liaison que ce que vous allez récupérer derrière. Donc vous pouvez refaire du carbone et de l'oxygène. Vous le pouvez très bien... Mais pour ça il vous faut de l'énergie. Vous ne pouvez pas avoir une réaction exothermique de transformation du CO₂. Ça c'est interdit. La création du CO₂ est exothermique. Et une fois que vous avez créé votre CO₂, il est stable.

*** Question auditoire ***

Question sur l'utilisation du CO₂ pour le stockage de l'électricité.

Si. Alors, il y a des gens qui proposent de faire de la méthanation. C'est-à-dire de récupérer le carbone du CO₂, de mélanger ça avec de l'hydrogène que l'on a par ailleurs récupéré en électrolysant, etc. Alors les rendements de ce genre de trucs sont de l'ordre de 20%. On en parlera au moment des énergies décarbonées, mais l'idée de stocker l'électricité de cette façon, par rapport au fait d'avoir des centrales nucléaires pilotables : c'est beaucoup moins cher d'avoir du nucléaire pilotable. Si vous n'êtes pas contre le nucléaire...

En fait, les dispositifs imaginés pour faire ce genre de trucs le sont par des gens qui ne veulent pas de nucléaire en général. Donc par exemple, les gaziers. Qui sont très contents, parce que comme ça, on peut continuer à utiliser leur réseau. Ou par exemple, les gens qui sont férocelement contre le nucléaire, et qui veulent tout sauf du nucléaire. Mais si vous voulez bien du nucléaire, en fait, le plus pratique – et de très loin parce qu'en plus c'est ce qui marche déjà, donc vous n'avez pas besoin de faire des plans sur la comète – c'est d'utiliser du nucléaire et de faire des systèmes pilotables, ce que l'on sait faire en France. Oui ?

*** Question auditoire ***

Question sur le coût énergétique de la séquestration de l'énergie du CO₂.

Je vais y revenir après. En fait, la séquestration prend assez peu d'énergie parce qu'une fois que le CO₂ est sous forme supercritique, le poids de la colonne de CO₂ est à peu près suffisant pour assurer l'injection du CO₂ dans la couche. La grosse consommation d'énergie associée à ça, c'est la capture.

36. *ATTRAPER (RIEN QUE) LE CO₂, 1^{ÈRE} DIFFICULTÉ*

En gros, ce que vous voulez, c'est n'injecter que le CO₂. Si vous faites de la combustion à l'air, dans la fumée, vous avez plein d'azote. Et vous n'avez aucune envie de mettre l'azote sous terre. L'azote ne vous emmerde pas. Il ne vous avait jamais rien fait. Donc, ce que vous faites, à ce moment, c'est que vous devez traiter les fumées. D'abord vous devez épurer les fumées pour qu'il ne reste pas une poussière, pas de suie, etc.

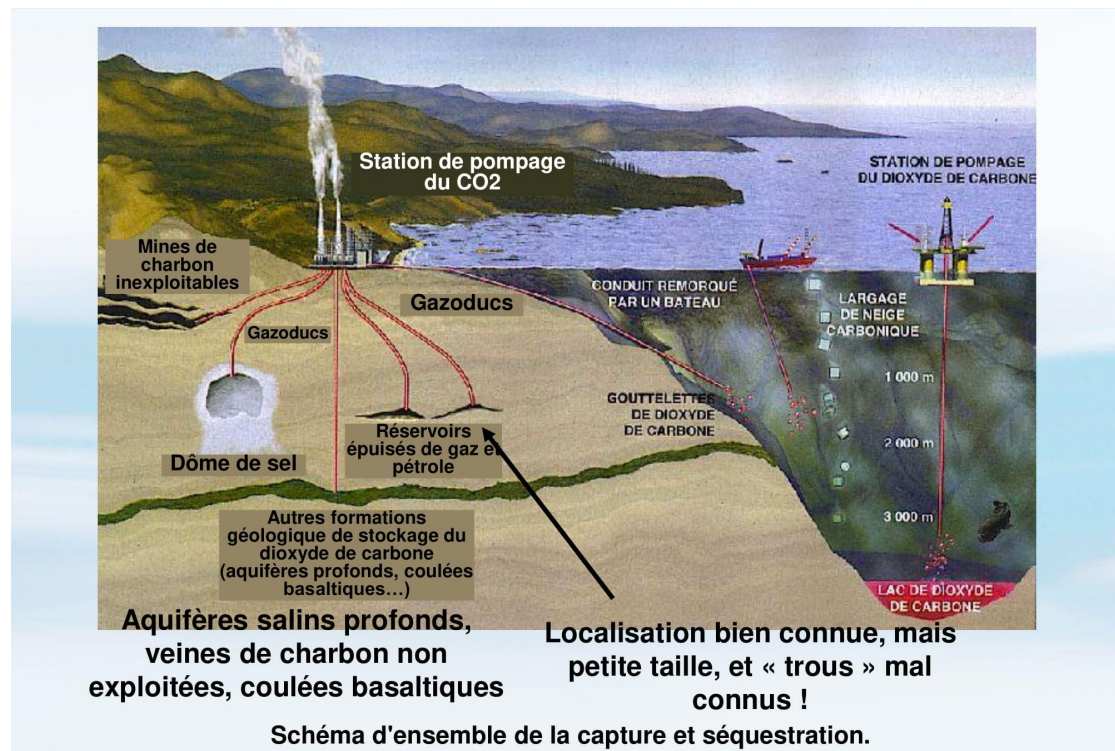
Ensuite, une fois que votre fumée est épurée, vous la faites passer sur un lit d'amines, qui sont des molécules qui vont vous adsorber le CO₂ de façon sélective. Donc, en gros, votre fumée passe à travers un bain d'amines, le CO₂ est adsorbé, et l'azote s'en va. Et vous allez chauffer votre bain d'amines derrière pour désorber le CO₂, et à ce moment, vous allez désorber que du CO₂. Vous récupérez du CO₂ pur que vous allez comprimer, acheminer jusqu'au point d'injection, et injecter sous forme supercritique.

La grosse consommation d'énergie du processus, c'est réchauffer des amines. C'est ça, la grosse, grosse consommation d'énergie du processus. L'injection elle-même, de mémoire, c'est quelques pourcents de l'énergie de départ. Par contre, la capture du CO₂, c'est 20 à 30% de l'énergie de départ. Donc là, vous avez une grosse pénalité énergétique. À ce moment-là.

Là ce que je finis par dire c'est que... Donc on capture, et après il faut acheminer jusqu'à un point d'injection. Alors, si vous avez une centrale qui est construite sur un bassin sédimentaire, typiquement en mer du Nord, vous pouvez injecter pas loin de la centrale.

Si votre centrale est construite sur un massif granitique, et bien un aquifère salin, vous allez avoir un peu de mal à en trouver un. Et donc ça veut dire qu'il va falloir transporter le CO₂ dans des tuyaux. Et donc, ça veut dire qu'il faut : 1) les construire, et 2) accepter ces infrastructures en surface... Enfin voilà. Vous avez un sujet qui est aussi un sujet d'infrastructures de transport.

37. Trouver le trou (bien étanche), 2^e difficulté



Diapositive 38.

*** Question auditoire ***

Question sur l'état supercritique du CO₂.

Ah! Parce que le CO₂, il a cette particularité thermodynamique : il devient supercritique quand il est à haute pression. Et c'est un état intermédiaire entre le gaz et le liquide. Voilà, c'est une particularité thermodynamique qu'il a. Et à ce moment – soit dit en passant – il est très peu visqueux et il est dense comme un fluide. Donc vous en injectez de plus grandes quantités que s'il était gazeux évidemment. Oui?

*** Question auditoire ***

Question sur le stockage du CO₂.

C'est plus compliqué de mettre du bois dans une roche que de mettre un truc qui est liquide... *** Rires *** Faire rentrer du bois dans les... dans les... Un réservoir de pétrole, encore une fois, c'est de la craie, ou du grès, ou du sable... Donc vous voyez... Faire entrer une bûche dans un morceau de grès, c'est quand même compliqué... Ce n'est quand même pas très simple. C'est plus simple de faire entrer du liquide.

37. TROUVER LE TROU (BIEN ÉTANCHE), 2^E DIFFICULTÉ

Cela étant – blague à part – du coup, vous comprenez aussi que ça ne rentre pas si vite que ça. Donc ça veut dire que pour injecter des très, très grandes quantités de CO₂ dans le sol, il faut multiplier – un peu comme les puits de gaz de schiste aux États-Unis, sauf que ça va dans l'autre sens – il faut multiplier les puits d'injection. Parce que, par puits d'injection, vous n'avez pas un débit extrêmement élevé. Oui ?

*** Question auditoire ***

Question sur l'utilisation de la biomasse pour stocker le CO₂.

Oui. Un BECCS (Bio-Energy with Carbon Capture and Storage). Ce qui fait fonctionner la centrale électrique, là, c'est de la biomasse. Voilà. C'est juste une variante de ça, mais avec de la biomasse au lieu que ça fonctionne avec du gaz ou du charbon.

Si vous le faites fonctionner avec du gaz et du charbon, vous êtes en circuit fermé. Ça sort de là [du sol]. Ça va là [dans la centrale électrique]. Ça retourne là [dans le sol]). Si vous le faites fonctionner avec de la biomasse, vous êtes en circuit d'injection. Ça vient de là [de l'atmosphère]. Ça va dans la biomasse. Ça va là [dans la centrale électrique]. Et ça passe sous le sol. D'accord ? Donc, le point de départ et le point d'arrivée ne sont pas les mêmes.

38. La séquestration c'est bien, sauf que

**Peu d'exploitations commerciales aujourd'hui
(exemple le plus connu = Sleipner en Mer du Nord)**

**Le rendement électricité/chaleur primaire passe de
45% à 35% (donc moins de PIB... ou plus de
combustible !)**

Pas de retrofit commode sur les centrales existantes

**Pas d'applications sur les sources diffuses (résidentiel
- tertiaire - transports)**

**Tout cela a donc un coût (> 60 \$/tCO₂ voire...) et sans
obligation économique les électriciens ne feront rien,
ou pas grand chose**

Diapositive 39.

Voilà. Oui, donc pour en revenir à la question du rendement, en fait, la grosse limitation de la capture, c'est la pénalité énergétique.

Alors imaginons que vous ayez une centrale électrique. Aujourd'hui, elle est dimensionnée pour fournir une certaine quantité d'électricité. Vous appliquez de la capture et séquestration. Du coup, 30% du charbon ou du gaz que vous enfournez dans votre centrale sert à autre chose. Du coup, votre rendement électrique baisse de 30%. Vous avez 30% d'électricité en moins à l'arrivée. Question : comment est-ce que vous gérez 30% d'économie d'électricité imposée ?

Et la vraie limitation de la capture et séquestration, elle est là. Elle n'est pas dans le fait qu'il faut payer 60 euros la tonne de CO₂ pour que ce soit rentable pour l'électricien. Le vrai sujet, c'est qu'à l'aval vous avez moins d'électricité, donc vous avez moins de machines qui fonctionnent. Donc, vous avez un problème économique. Il est là le vrai sujet. Alors, vous pouvez dire : « Bon, ben c'est parfait, on renverse le problème et on augmente la puissance de la centrale de 40%. »

38. LA SÉQUESTRATION C'EST BIEN, SAUF QUE

Alors, on peut le faire. Sauf que si c'est une centrale à charbon, il faut augmenter la taille du bagger que l'on a vu tout à l'heure de 40%. Il faut augmenter le convoyeur qui va jusqu'à la centrale de 40%. Il faut augmenter la capacité des brûleurs de 40%. Il faut augmenter l'évacuation des cendres de 40%. Et la grosse centrale de tout à l'heure, elle fait 10 000 tonnes de cendres par jour, etc. Donc, en fait, vous avez des gros problèmes logistiques sur votre centrale que vous ne savez pas résoudre à bref délai.

Donc, la limitation de la capture et séquestration sur la production électrique, ce n'est pas que ça coûte cher. En fait, que ça coûte cher, ce n'est pas le problème. Le problème, c'est que vous avez une perte physique, qu'aujourd'hui on ne sait pas gérer. Il est là, le problème. C'est la pénalité énergétique qui pose un problème. Voilà.

Donc à cause de tout ce que je viens de dire, ce n'est pas commode de faire un rétrofit sur les centrales existantes. Et bien évidemment, c'est un dispositif qui ne peut s'utiliser que sur les sources concentrées.

Alors, les sources concentrées, ça fait quand même un paquet de sources. Dans le diagramme que je vous avais montré sur les émissions de gaz à effet de serre, vous vous rappelez, par exemple, 20% des émissions mondiales c'est les centrales à charbon. Ça serait éligible. 6% les cimenteries. Ça serait éligible. 7% les centrales à gaz et à pétrole. Ça serait éligible. Voilà. Donc, vous avez en gros 40%, on va dire, des émissions mondiales, qui seraient éligibles. Mais c'est 40%. Ce n'est pas 100%. Mais je le redis.

Alors et par ailleurs, comme ça a un coût et que ça a des conséquences très importantes, à la fois à l'amont et à l'aval, aucun électricien ne fera jamais rien dans les bons ordres de grandeur si on ne lui en colle pas l'obligation. Donc, la CCS est quelque chose qui ne se développera jamais de manière significative s'il n'y a pas, par voie réglementaire, l'obligation de le faire. Si ce n'est pas obligatoire, quelles qu'en soient les conséquences, ça ne se fera pas.

*** Question auditoire ***

Question sur les leviers financiers pour obliger les électriciens à mettre en place la CCS.

Alors ça revient à une obligation. Je finirai ce cours en expliquant qu'en fait, une manière de matérialiser la contrainte ça peut arriver soit par un prix, soit par une réglementation. Et en fait, la réglementation vous matérialise un coût d'ajustement. Donc, c'est une forme de prix, mais un peu différent. Vous verrez la différence à la fin.

38. LA SÉQUESTRATION C'EST BIEN, SAUF QUE

Donc, on peut décarboner avec la CCS. Et encore une fois, décarboner avec les autres marges de manœuvre sur la production électrique. On en parlera la prochaine fois.

39. Faire une maison « zéro énergie », on peut



**Exemple de maison passive (pas de chauffage, pas de climatisation)
située en Suède**

Diapositive 40.

Après, on peut faire de l'efficacité à l'autre bout de la chaîne. Et, je vais vous donner quelques exemples.

On peut parfaitement, aujourd'hui, construire un bâtiment neuf qui soit extrêmement performant. Pas nécessairement n'importe où, parce que, par exemple, pour qu'il soit performant il faut correctement l'orienter par rapport au soleil. Si la parcelle où vous construisez fait que l'orientation du logement que vous allez construire, vous ne pouvez pas mettre la face sud au sud, etc., parce que la parcelle est ainsi disposée, vous ne pouvez pas nécessairement bénéficier de tous les apports thermiques et donc avoir un truc aussi efficace que ça devrait être. Mais techniquement – j'ai envie de dire, dans de bonnes conditions – ce n'est pas très difficile de faire ça.

Ici vous avez, par exemple, une maison passive en Suède. Passive, ça veut dire qu'il n'y a pas de dispositif de chauffage. Et on est en Suède, où il fait raisonnablement froid l'hiver. Donc, ça marche, il n'y a pas de problèmes.

40. L'impossible définition des économies : le chauffage



Le logement de 1950 : 250 kWh/m²
quand il y a le chauffage central

Le logement de 2008 : 80 kWh
(finaux) par m²

3 fois moins d'énergie par m² de logement

Economies !

Diapositive 41.

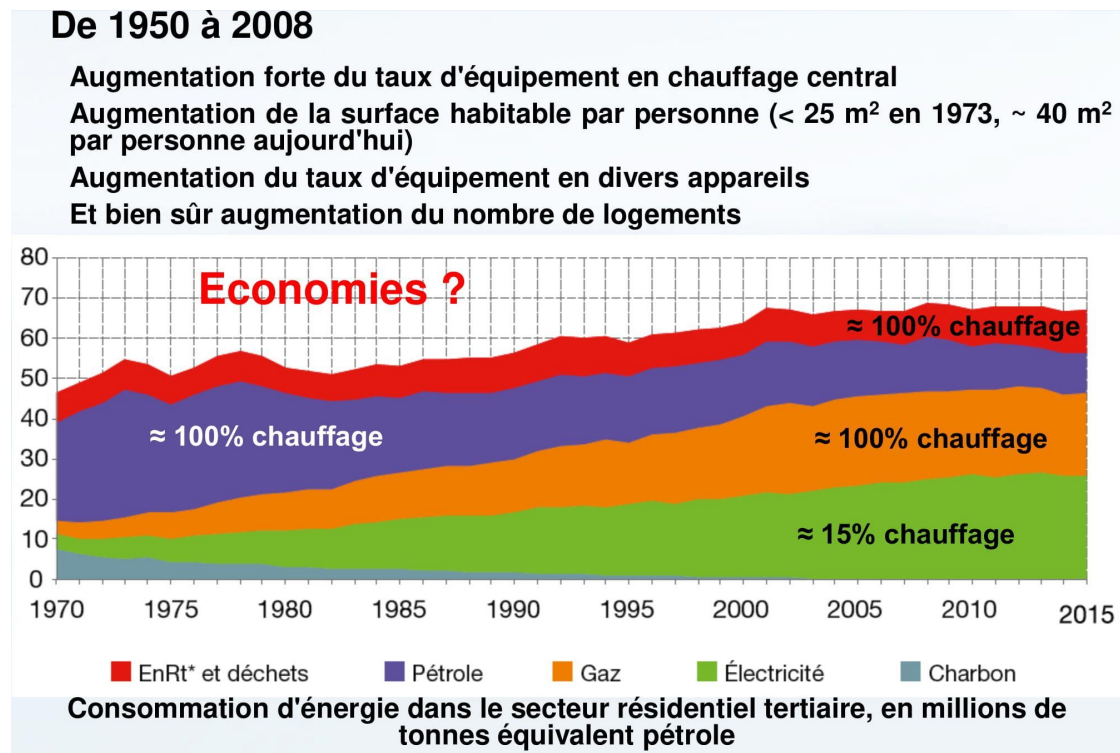
Alors en fait, ça fait longtemps qu'on améliore l'efficacité des bâtiments. Notamment, à la suite du choc pétrolier, on a commencé à faire ça en France.

Donc ici, vous avez par exemple un logement qui date d'il y a quelques dizaines d'années. Quand il avait un chauffage central, il fallait plus de 200 kilowattheures par mètre carré et par an pour assurer son chauffage.

Après, on a fait des logements qui étaient plus efficaces. Et puis – soit dit en passant – quand on fait des logements collectifs, ce qui est le cas quand on urbanise, et bien intrinsèquement c'est plus efficace. Et on est descendu à quelques dizaines de kilowattheures par mètre carré et par an, avant même de parler de la réglementation actuelle.

Donc, vous voyez qu'on fait déjà des choses plus efficaces, et on pourrait se dire : « Du coup, on va faire des économies. »

41. Mais...



Diapositive 42.

Mais! Mais il se trouve que dans le même temps... D'abord il y a un certain nombre de bâtiments qui n'étaient pas chauffés. Donc la performance intrinsèque, elle n'avait pas de sens, puisqu'il n'y avait pas de chauffage. Si on leur donne un chauffage, à ces bâtiments existants, on va augmenter la consommation d'énergie.

Ensuite on a augmenté la surface habitable par personne. La surface habitable par personne est aujourd'hui de quasiment 40 m². Avant les chocs pétroliers, elle était de 25 m². Enfin 23 m².

Ensuite on a augmenté le taux d'équipement en tout un tas de trucs. C'est-à-dire que dans la maison de votre grand-mère quand elle avait votre âge, ou de votre grand-père quand il avait votre âge, il n'y avait pas tout l'équipement électroménager que vous trouvez aujourd'hui dans votre logement à vous.

Ensuite on a évidemment augmenté la quantité de logements.

41. MAIS...

Ce qui fait que la quantité d'énergie totale que l'on utilise dans le bâtiment est restée à peu près constante. Et la quantité d'énergie fossile que l'on utilise dans le bâtiment n'a pas considérablement diminué. Elle a changé de nature. Vous avez moins de charbon. On utilisait plus de charbon il y a quelques dizaines d'années. Moins de fioul. Plus de gaz. Et plus d'électricité. Et globalement, on utilise à peu près la même quantité d'énergie aujourd'hui dans le bâtiment que c'était le cas il y a quelques dizaines d'années.

Par ailleurs, il y a une chose qu'il faut se sortir de la tête. Souvent, on entend dire que le neuf remplace de l'ancien. Ce n'est pas vrai. Le neuf se rajoute à l'ancien. En France, on construit chaque année quelques centaines de milliers de logements. On a un parc existant qui est de 30 millions de résidences principales. Donc, vous voyez, on pourrait se dire : « Bon, ben c'est 1% que l'on remplace chaque année. »

En fait non. C'est 1% que l'on rajoute chaque année. Ce qui correspond, soit dit en passant, à l'accroissement naturel de la population et aux divorces. Et le vrai taux de renouvellement, c'est plutôt de l'ordre de 1 pour 1000. Donc on ne peut pas compter sur la rotation naturelle du parc en se disant : « Et bien, l'efficacité dans la construction neuve fera le job sur le parc existant... Il suffit d'attendre. » En fait, il y a très peu de renouvellement du parc existant.

42. Laissez les ingénieurs faire des voitures économes !



The image shows a comparison between two Citroën cars. On the left is a Citroën 2CV from 1950, a small, boxy, light-colored car. On the right is a Citroën C3 from 2008, a modern, sleek, silver car. An arrow points from the 2CV to the C3. Below each car are its technical specifications. Below these specifications are four lines of text in red and black, comparing fuel consumption metrics. At the bottom, the text 'Economies ?' is written in red.

La 2CV de 1950	La C3 de 2008 (diesel)
375 cm ³ de cylindrée,	1.400 cm ³ de cylindrée,
9 CV de puissance, 60 km/h, 500 kg	70 CV de puissance, 160 km/h, 1.000 kg

4 fois moins de carburant consommé par cm ³ de cylindrée	2,5 fois moins de carburant consommé par km/h de vitesse maximale	7 fois moins de carburant consommé par CV de puissance nominale	2 fois moins de carburant consommé par kg de masse
4,5 litres aux 100	5 à 6 litres aux 100		

Economies ?

Diapositive 43.

Sur les voitures, c'est pareil. On a fait des progrès considérables sur une voiture donnée. Là vous voyez la voiture... Enfin c'est presque la voiture dans laquelle j'ai appris à conduire... Et ici vous voyez la petite voiture, on va dire, de la société moderne.

Alors si vous regardez la quantité de carburant consommée par litre de cylindrée, on a fait d'énormes progrès. Si vous regardez la quantité de carburant par kilomètre/heure de vitesse maximale, on a fait d'énormes progrès. Si vous regardez la quantité de carburant consommée par unité de puissance du moteur, on a fait d'énormes progrès. Et enfin, si vous regardez la quantité de carburant consommée par kilogramme de masse, on a aussi fait d'énormes progrès.

Sauf que l'engin à gauche consommait 5 litres aux cent, et l'engin à droite consomme 5 litres aux cent. Donc en fait, ce qu'on a fait avec les voitures, ce n'est pas d'économiser sur une voiture : c'est d'augmenter la performance à consommation constante. C'est ça qu'on a fait sur les voitures.

42. LAISSEZ LES INGÉNIEURS FAIRE DES VOITURES ÉCONOMES !

De même que sur les bâtiments, puisqu'on a à peu près la même quantité d'énergie consommée (pas tout à fait mais presque) pour la même population (en ordre de grandeur) : on a augmenté l'espace habitable et la quantité d'équipements du logement, à consommation constante.

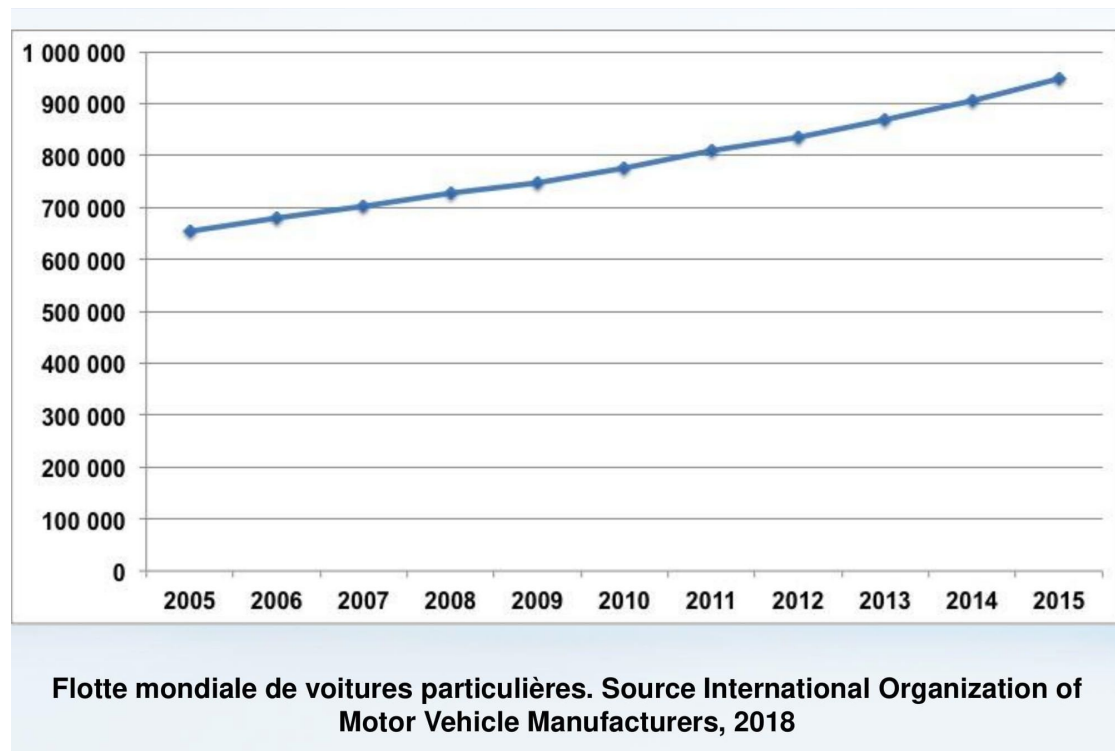
Ce que, laissée à elle-même – et je vais généraliser ça – l'efficacité énergétique nous offre, en général, c'est un accroissement des performances à consommation constante, voire à consommation croissante. Parce que nous sommes en démocratie et qu'on a le droit d'acheter ce qu'on veut. Oui ?

*** Question auditoire ***

« Ici c'est 4,5 et 5 à 6 litres de la même chose ? »

Oui. En l'occurrence, à gauche c'était de l'essence. À droite c'est plutôt du diesel, mais peu importe. Ce que je veux dire c'est que c'est le même ordre de grandeur. Si on avait vraiment appliqué les multiples que vous avez là, on aurait toujours des deux chevaux aujourd'hui – donc les voitures que vous auriez plafonneraient à 90 km/h, feraient 500 kilogrammes – et effectivement, elles consommeraient 2 litres. Mais ce n'est pas du tout ça qu'on a fait. Ce n'est pas du tout ça qu'on a fait.

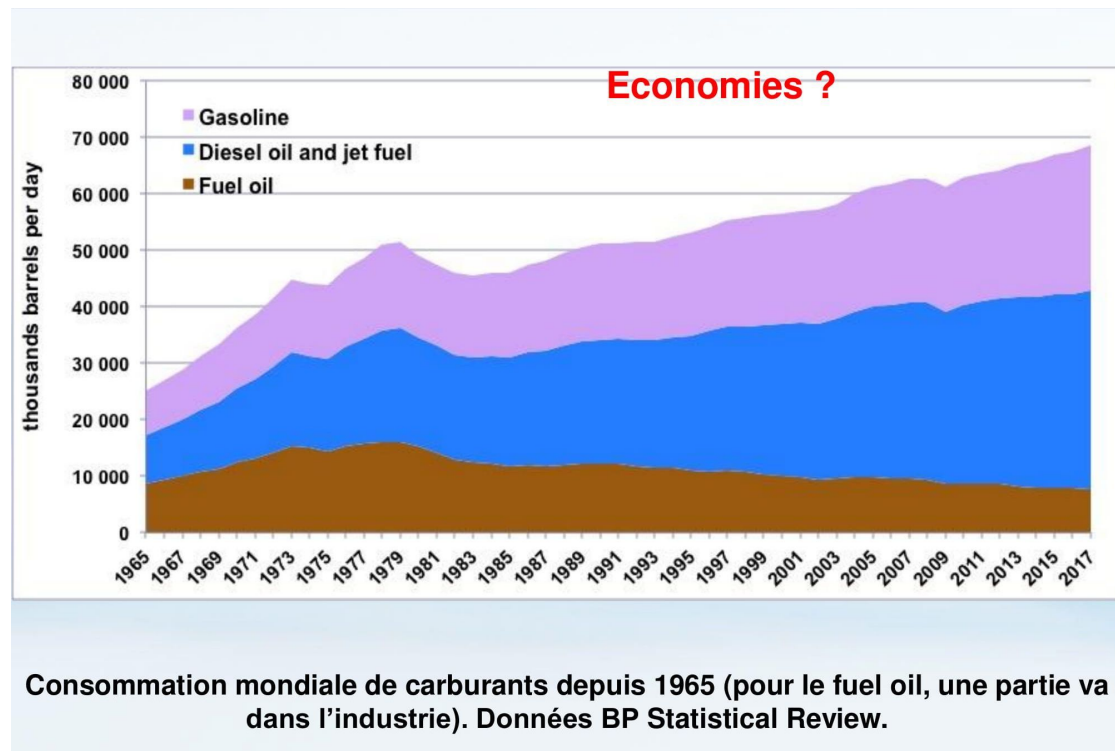
43. Mais...



Diapositive 44.

Dans le même temps, le parc de véhicules dans le monde augmente fortement.

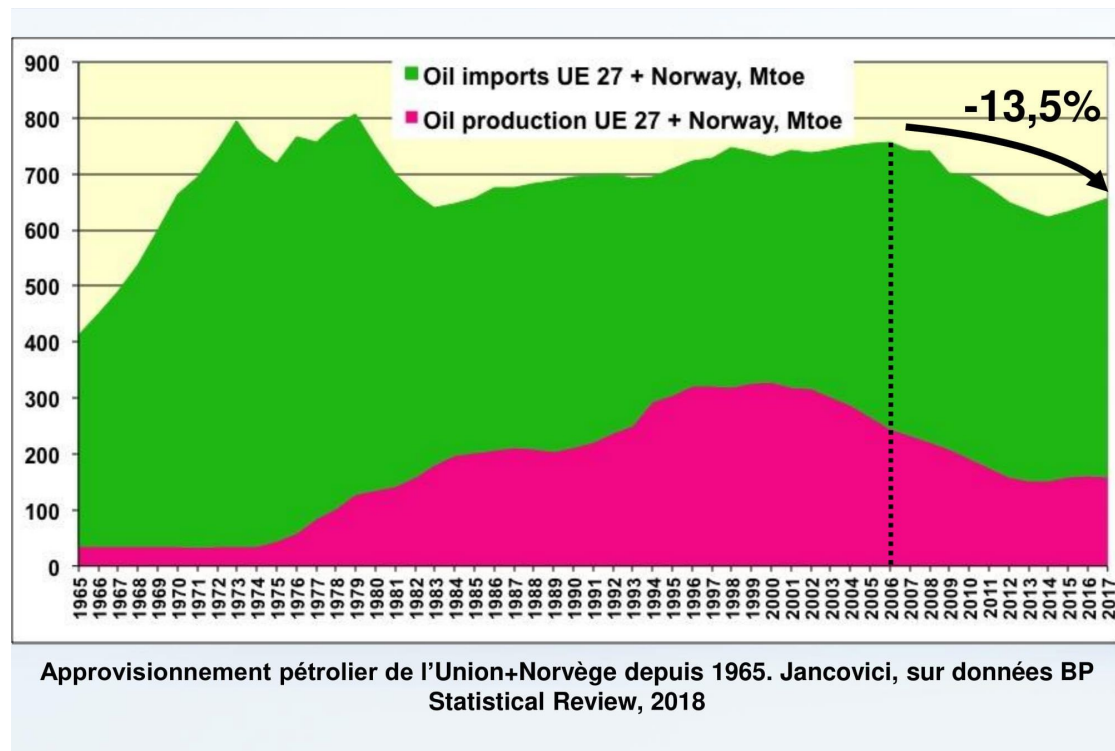
44. En voiture, tout le monde!



Diapositive 45.

Et du coup – là vous l'avez pour le monde dans son ensemble – la quantité de carburant que nous utilisons dans le monde a tendance à augmenter pour le moment. Donc, la question de savoir si on fait des économies est une question intéressante. Et pour le moment, en fait, la réponse dans le monde, c'est non : on ne fait pas d'économies.

45. Mais l'Europe n'est pas le monde...



Diapositive 46.

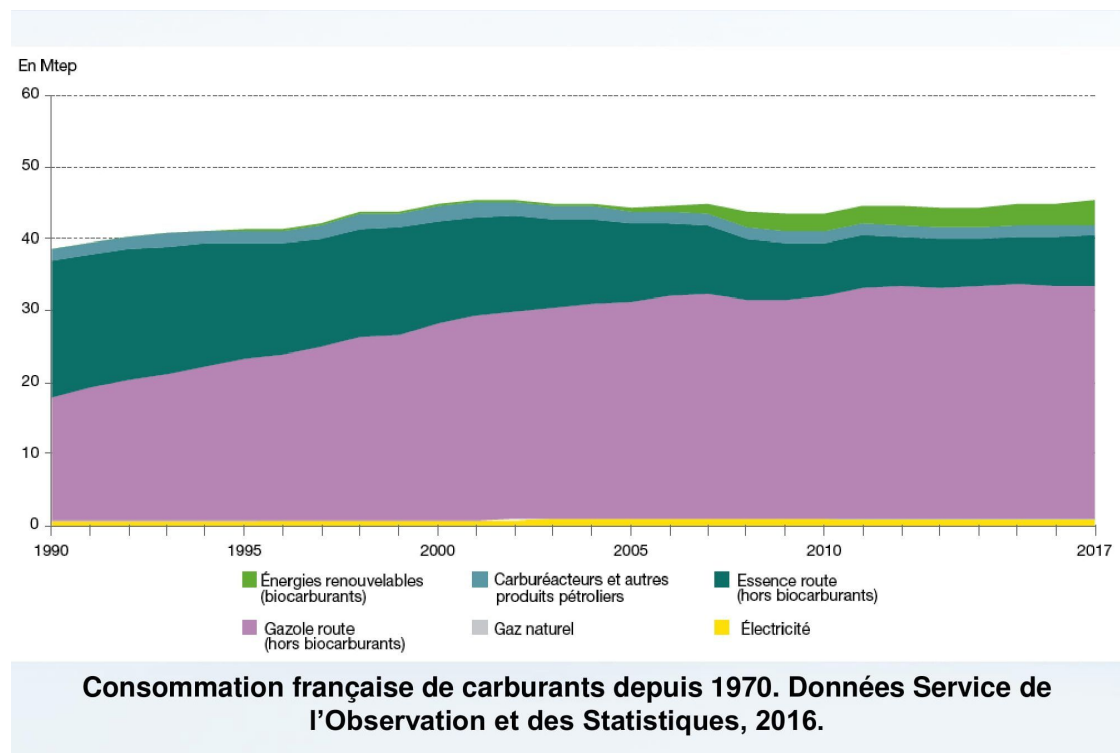
Sauf quand on est obligé! Donc en Europe, on a déjà commencé à devenir un tout petit peu des pauvres du pétrole. C'est-à-dire des économies forcées.

Vous avez ici – je vous l'avais déjà montré mais je vous le re-projette – l'approvisionnement européen en pétrole depuis 1965. Et ce que vous voyez, c'est que depuis 2006, on a perdu quasiment 14% d'approvisionnement pétrolier.

Alors ça se fait en 2 temps. Ça c'est jusqu'en 2013–2014. Là vous avez l'approvisionnement en pétrole de schiste. Là, en gros, le prix du pétrole étant très fortement remonté à partir de 2008, vous avez à la fois le pétrole de schiste qui se met à produire de manière importante (parce que les prix du pétrole sont élevés), et tout un tas de projets (notamment dans la mer du Nord) qui consistent à mieux racler les réservoirs qui sont mis en œuvre.

Et donc, l'approvisionnement domestique se remet à légèrement croître; l'approvisionnement mondial se remet à légèrement croître; et du coup, l'Europe repart légèrement à la hausse. Mais, comme je vous l'ai dit au moment du cours sur le pétrole, ça ne va pas durer éternellement.

46. Et nous autres gaulois sommes européens

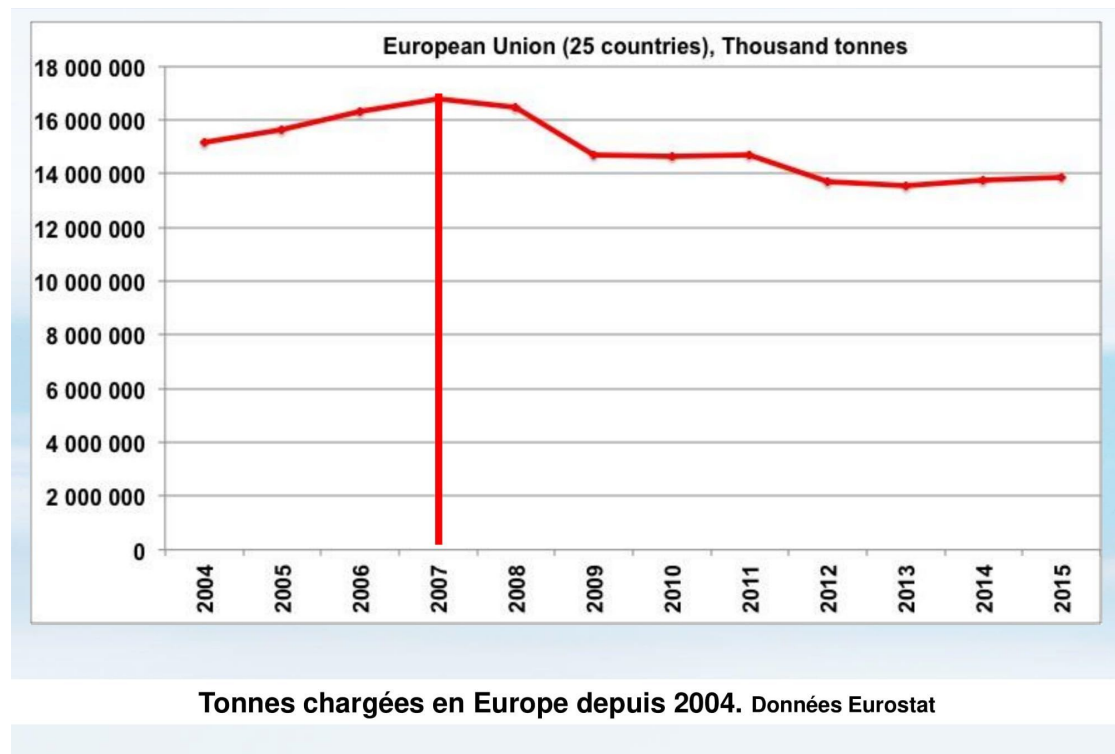


Diapositive 47.

Et du coup, ce que vous voyez ici, c'est la quantité de carburant que nous utilisons en France. Et vous voyez qu'en fait, on est passé par un maximum au début des années 2000, et depuis, c'est raisonnablement stable. En très, très léger déclin. Mais en gros, c'est raisonnablement stable.

Donc en fait, la quantité de carburant que l'on consomme en Europe, et en France en particulier, a déjà commencé à se tasser. Mais là, ça se fait, j'ai envie de dire, sous la contrainte. Ce n'est pas de l'efficacité. Ce n'est pas de la sobriété. C'est une forme de pauvreté. Parce que : on ne peut plus.

47. Moins de pétrole, moins de camions



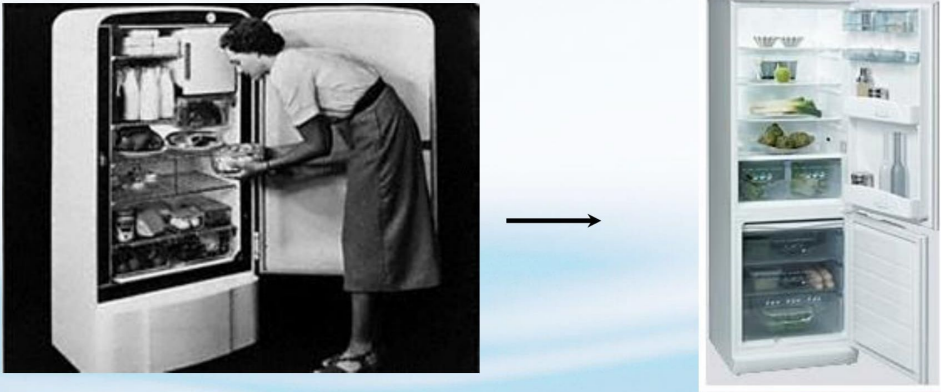
Diapositive 49.

Et ceci allant avec cela, vous avez ici le trafic de marchandises, donc la quantité de marchandises chargées dans les camions, dont vous voyez qu'elle est passée par un maximum en 2007.

Vous avez ici la production industrielle européenne. C'est pareil : elle est passée par un maximum en 2007. La construction en Europe est passée par un maximum en 2007. Donc en 2007, en Europe, on a commencé à faire des économies obligées. Ça s'appelle de la pauvreté.

Et à cause de ce que raconte mon équation de Kaya, c'est déjà en train de s'appliquer aux flux physiques de la production. Et du coup, à la contrepartie monétaire de ces flux physiques.

48. L'impossible définition des économies : l'électricité



The image shows a comparison between two refrigerators. On the left is a vintage 1950 refrigerator, which is smaller and has a single door. A woman in a white shirt and dark skirt is leaning over it, looking inside. On the right is a modern 2010 refrigerator, which is much larger and has multiple compartments, including a freezer at the bottom. An arrow points from the 1950 model to the 2010 model.

Le frigo de 1950 : ~100 litres, ~400 kWh/an

Le frigo de 2010 : 280 litres, 30% en compartiment surgelés, 320 kWh/an

2 à 4 fois moins d'électricité par litre refroidi

Par rapport à 1970, 4 fois moins d'électricité consommée par réfrigérateur

Economies !

Diapositive 50.

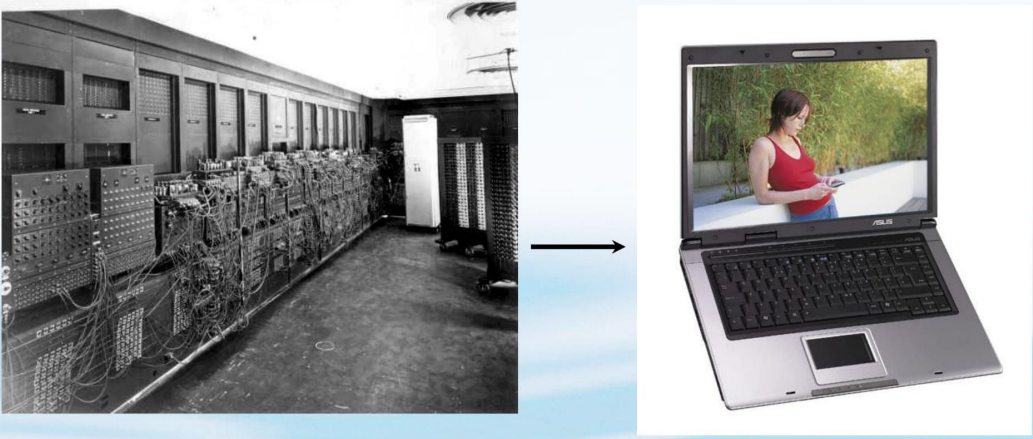
Alors voilà un autre exemple. Toujours dans les économies d'énergie.

Ici vous avez le frigo de l'américain et de l'américaine en 1950. Ça consomme quelques centaines de kilowattheures par an et ça possède 100 litres de capacité.

Ici, vous avez le frigo que vous trouvez chez un revendeur (que je ne nommerai pas) aujourd'hui. Ça consomme toujours quelques centaines de kilowattheures par an (un peu moins en l'occurrence). Par contre la capacité a été triplée, et un tiers de cette capacité est à -18°C . Alors qu'à l'époque, c'était entre 5 et 10°C .

Donc voilà. Donc, à nouveau, on a fait énormément d'économies. Si on regarde *un* frigo.

49. L'impossible définition des économies : l'électricité



L'ordinateur de 1950 (ENIAC) : 27 tonnes, 18.000 tubes à vide, 150 kW.

L'ordinateur de 2015 : 2 kg, 50 millions de transistors, 20 W

Un million de fois moins de puissance électrique consommée par transistor

Un million de fois moins de poids par transistor

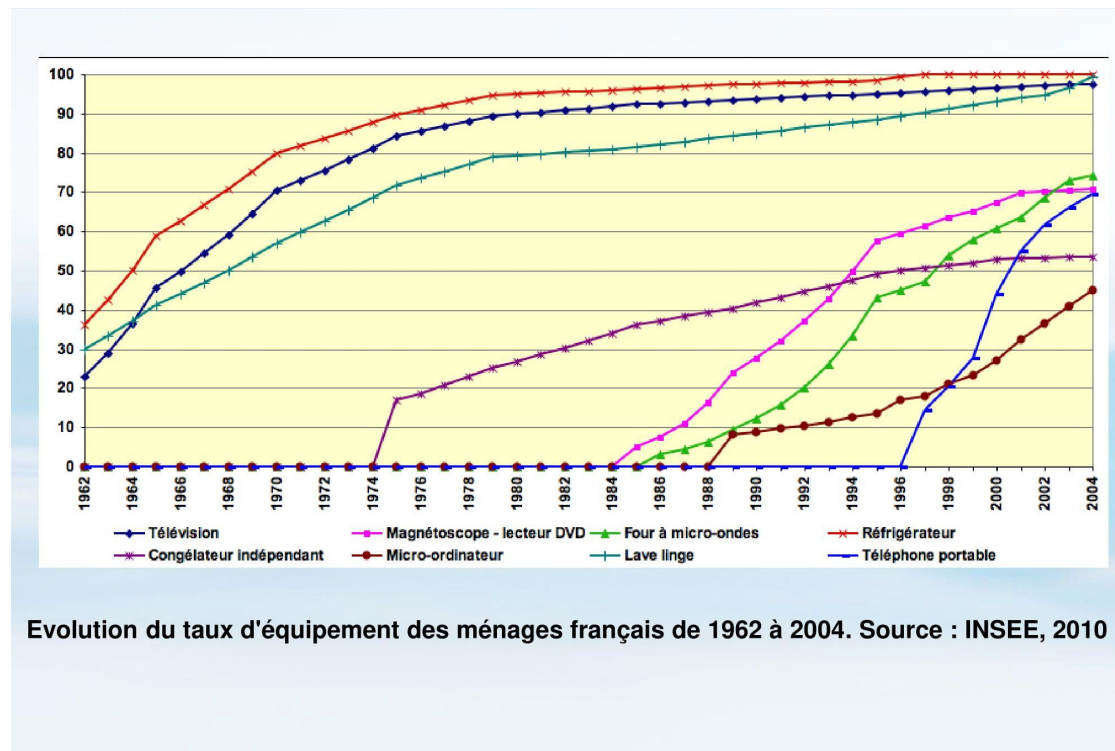
Economies !

Diapositive 51.

Voilà mon premier ordinateur, dont je vous avais parlé au moment du cours sur le changement climatique, donc l'ENIAC [Electronic Numerical Integrator And Computer]. Voilà. Il a un peu moins de 20 000 tubes à vide. Il a un poids confortable, vous voyez. Il pèse quelques dizaines de tonne. Et il consomme 100 kW d'électricité. C'est un très, très gros radiateur.

Voilà l'ordinateur dont je suis en train de me servir. Il fait 2 kg. Un peu plus de 2 kg. Il a des dizaines de millions de transistors et il consomme 20 W. Donc, que vous regardiez par unité de poids, par unité logique, par etc., on a gagné un facteur absolument hallucinant en ce qui concerne l'efficacité d'un ordinateur. *Cet* ordinateur est plus puissant qu'un supercalculateur des années 70 que l'on utilisait pour aller sur la lune.

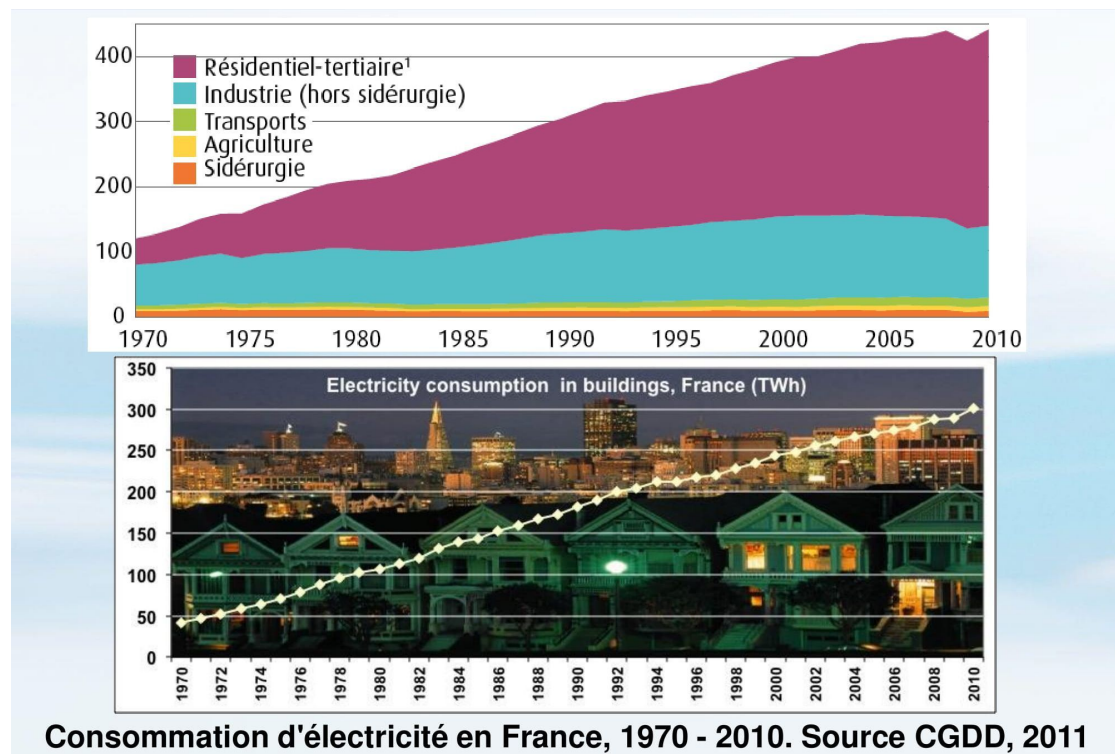
50. Mais...



Diapositive 52.

Mais dans le même temps, les gens se sont un tout petit peu équipés, vous voyez, en tout et n'importe quoi. Donc en frigos, en ordinateurs, en machins, en lampes...

51. Économies ?



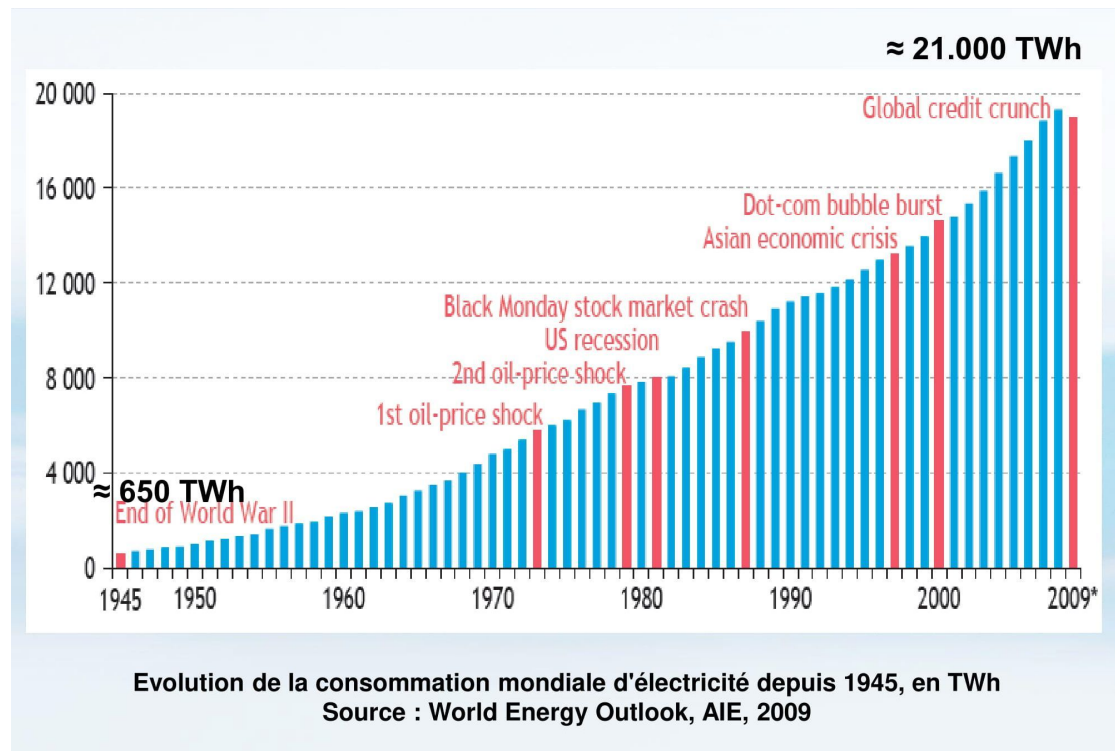
Diapositive 53.

Et quand vous regardez la quantité d'électricité utilisée dans les bâtiments en France, et bien voilà à quoi ça ressemble.

Vous voyez, l'essentiel de cette augmentation ce n'est pas du chauffage, c'est tout le reste ! C'est tous les appareils électriques que vous trouvez aujourd'hui dans les logements. Chacun d'entre eux étant considérablement plus efficace que celui que l'on avait il y a 30 ans, quand il existait.

Donc chacun d'entre eux est considérablement plus efficace. Il n'empêche que vous voyez que c'est absolument pas des économies en valeur absolue que l'on a faites.

52. Plus d'électrons pour tous



Diapositive 54.

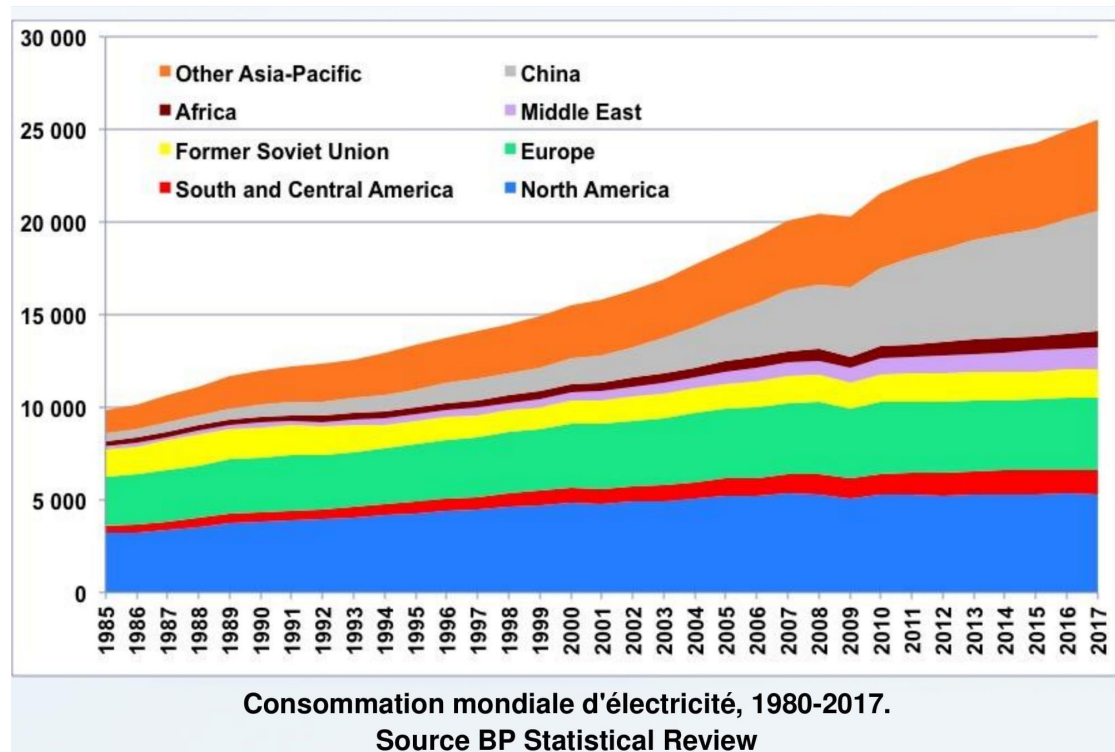
Si je regarde à l'échelle de la planète, vous avez ici la quantité d'électricité qui est utilisée (donc produite) sur Terre depuis 1945.

Est-ce que vous savez quelle est la production électrique de la France actuellement? Si vous aviez été attentifs, avec un calcul d'ordre de grandeurs vous me le retrouveriez. 550 térawattheures. La production électrique actuelle de la France, c'est 550 térawattheures. 550 milliards de kilowattheures.

La production électrique mondiale en 1945, vous voyez, c'était un peu plus de 600. Donc retenez qu'en ordre de grandeur, la Terre entière utilisait autant d'électricité que la France en produit aujourd'hui, en 1945.

L'électricité pour tous, c'est la marque de la deuxième moitié du xx^e siècle. Même la première moitié du xx^e siècle ne connaissait pas ça. Il commençait à y avoir de l'électricité dans les maisons bourgeoises et dans quelques endroits et pour faire avancer quelques mètres. Mais l'électricité pour tous, à cette époque, ça n'existait pas.

53. Et encore plus !

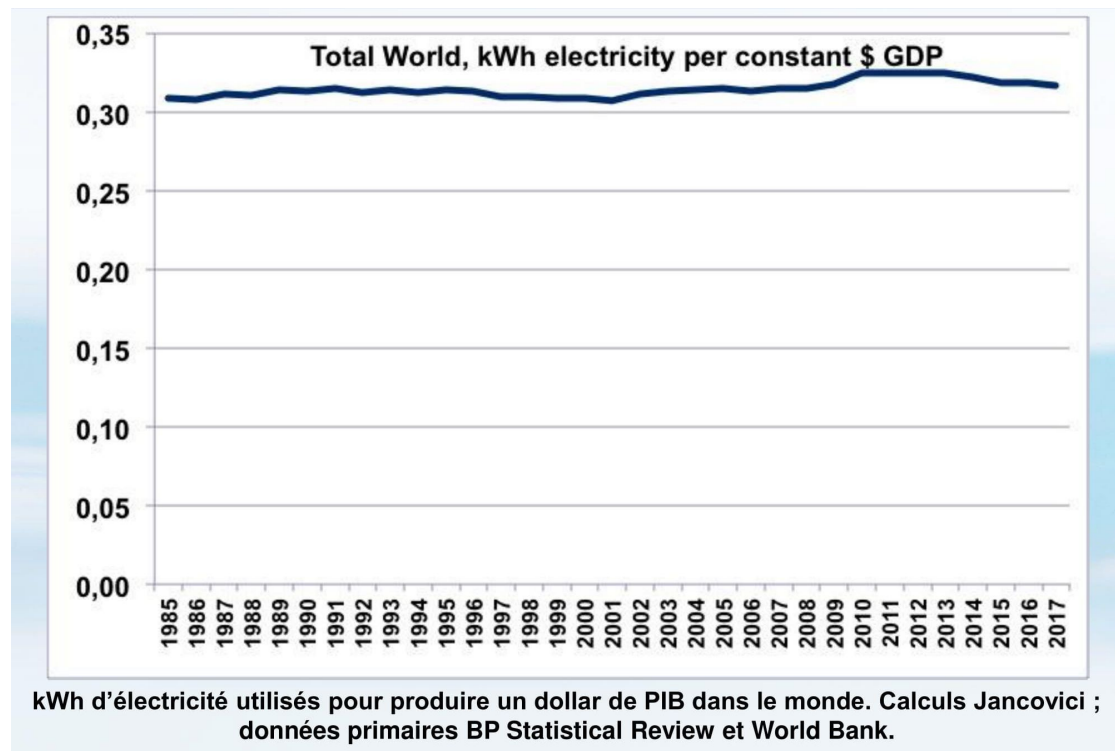


Diapositive 55.

Si on fait un zoom plus récent, voilà à quoi ressemble la quantité d'électricité utilisée dans le monde sur les trente dernières années, en gros.

Ce que vous voyez, c'est qu'une bonne partie de l'incrément... Pas tout. La zone OCDE a augmenté sa consommation, etc. Mais là vous voyez l'essor de la Chine, qui est absolument spectaculaire en ce qui concerne l'électricité. Et le reste des émergents, que vous voyez là également.

54. Efficacité?

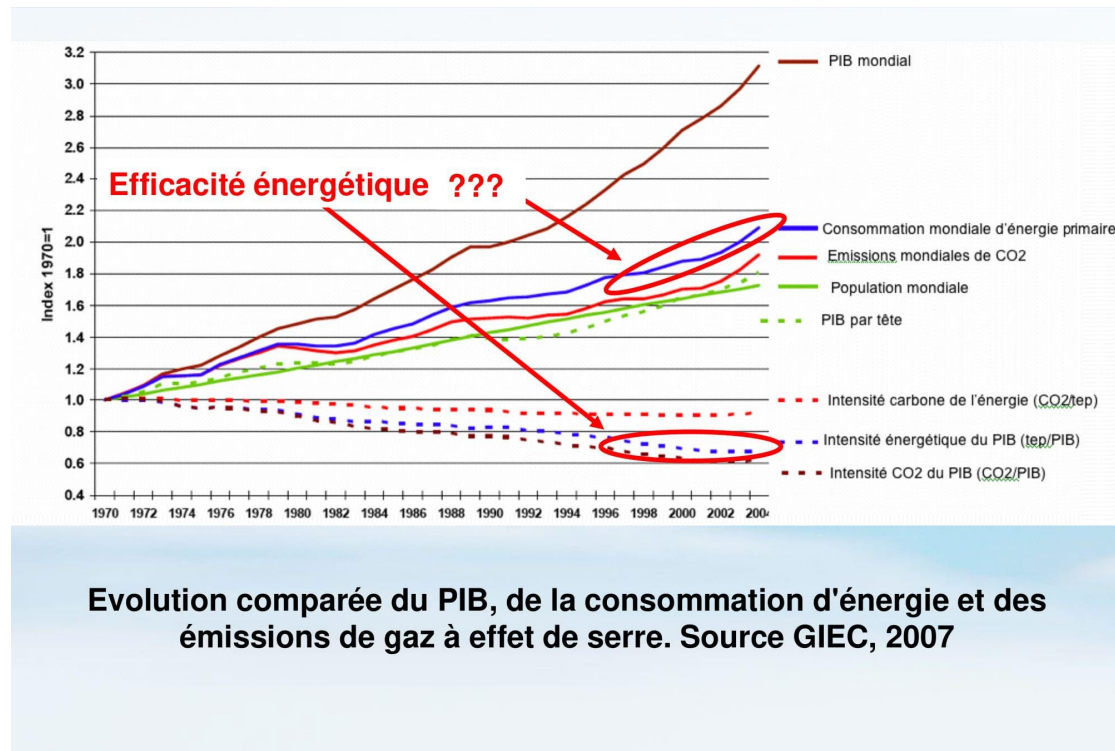


Diapositive 56.

Et l'électricité, c'est une énergie finale qui est particulièrement difficile à faire baisser par unité de PIB. Alors ne me demandez pas pourquoi, parce que je n'ai pas encore regardé dans le détail. Mais vous avez ici une courbe qui vous donne la quantité d'électricité qui est utilisée dans le monde – donc c'est une moyenne mondiale – par dollar de valeur ajoutée, et donc par dollar de PIB.

Et ce que vous constatez, c'est que sur la durée de cette série (c'est-à-dire sur un peu plus de 30 ans), cette valeur est, aux oscillations près, rigoureusement constante. Il n'y a strictement aucun gain d'efficacité électrique par dollar de PIB sur les trente dernières années.

55. Moins d'énergie, c'est quoi exactement ?



Diapositive 57.

Donc, la conclusion de ce petit passage sur les appareils, c'est qu'il faut faire très attention, quand on parle d'économies d'énergie, à ne pas confondre deux choses que l'on confond en permanence, qui sont :

- L'efficacité unitaire, c'est-à-dire combien je gagne par appareil ou par usage.
- L'efficacité globale, c'est-à-dire : « Est-ce que je suis capable de faire baisser globalement ma consommation d'énergie rien qu'avec cette efficacité ? »

Et ce que vous voyez, c'est que sur la même durée – et en fait depuis que l'on fait des séries statistiques –, on a en permanence, en même temps une efficacité qui s'améliore un peu, dans le même temps qu'une quantité globale utilisée qui augmente.

Or, si vous vous placez du point de vue soit de l'atmosphère, soit des stocks de combustibles fossiles, ce qui compte ce n'est pas la consommation par appareil. C'est la totalité soit de ce que vous tapez dans le stock, soit de ce que vous mettez dans l'atmosphère. L'atmosphère se contrefiche de nos émissions

55. MOINS D'ÉNERGIE, C'EST QUOI EXACTEMENT ?

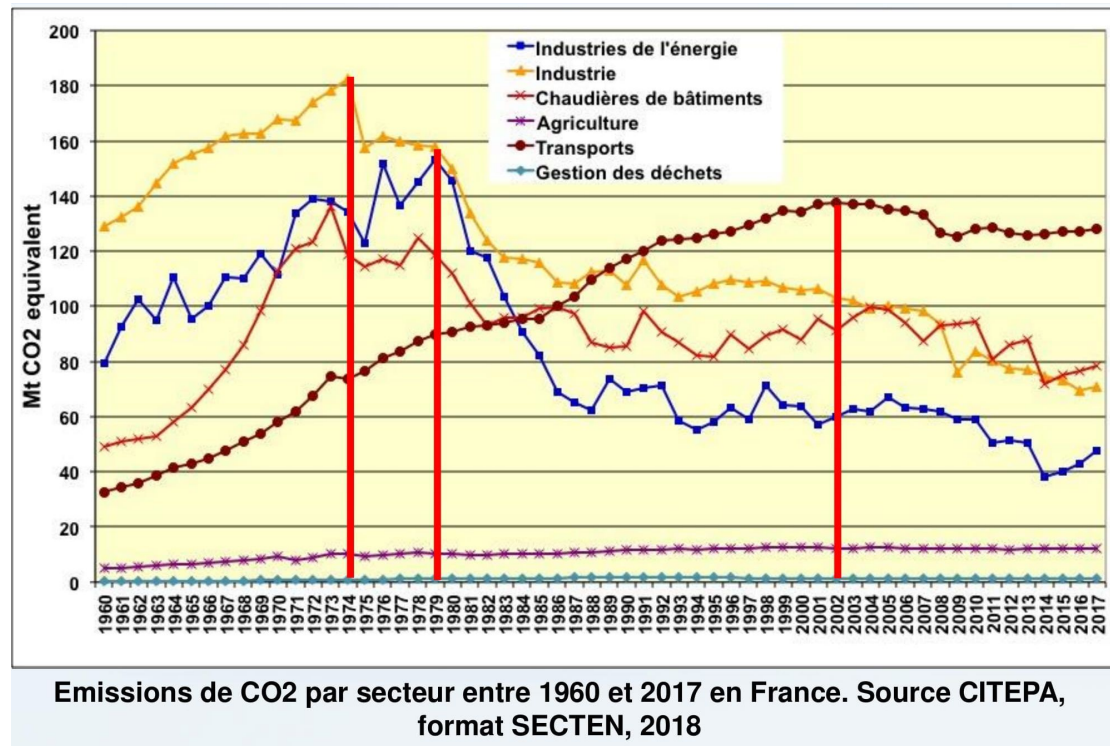
par aspirateur, ou de nos émissions par voiture, plus exactement. Ça l'intéresse pas, l'atmosphère. Elle, ce qu'elle voit, c'est la quantité totale de CO₂ qui arrive.

De même qu'un réservoir de pétrole, la consommation par voiture ou la consommation par chaudière, il s'en fiche. Ce qu'il voit, c'est la quantité totale que l'on va prendre dans le réservoir. Donc, ce qui doit être baissé – si on parle économies –, c'est soit les émissions totales (si on parle du climat), soit la consommation totale de combustibles fossiles (si on parle d'énergie). C'est bien ça qui doit être baissé.

Et le grand drame de ce qu'on a fait jusqu'à maintenant, c'est qu'à quelques exceptions près, tout ce qu'on a fait en efficacité unitaire a toujours été plus que compensé par une augmentation des usages. Toujours. Tout le temps.

Dit autrement, compter juste sur les ingénieurs en ne réglementant pas les usages, c'est quelque chose qui ne marche pas. Ça ne marche pas ! C'est comme ça, ça ne marche pas.

56. En fait la vérité est dans le prix



Diapositive 58.

Alors ce qui marche, c'est de coller des contraintes, et c'est de ça dont on va parler à partir de maintenant.

Vous avez ici les émissions de CO₂ de la France, que je vous avais déjà montrées, mais que je vais vous remonter avec une autre lecture, au regard de ce que je viens de vous dire. Vous les avez, discriminées dans un certain nombre de secteurs. Donc là, vous voyez, on est pendant les Trente Glorieuses jusqu'aux chocs pétroliers. Tout augmente, puisqu'en fait l'économie croît fortement, parce qu'on a de plus en plus d'énergie à disposition. Et donc les émissions de CO₂ qui vont derrière augmentent partout.

Et puis en 1973, on a tout d'un coup un énorme signal prix qui arrive sur le pétrole. Alors à ce moment, vous voyez deux secteurs qui vont réagir très rapidement. Le premier secteur qui réagit très rapidement, c'est l'industrie. Vous voyez, l'industrie avait des émissions qui croissaient. Immédiatement, ces émissions se mettent à décroître.

56. EN FAIT LA VÉRITÉ EST DANS LE PRIX

Je l'avais déjà dit dans un cours précédent mais je le redis : dans les industries et plus généralement dans le monde économique, vous avez une rationalité à l'œuvre qui est beaucoup plus élevée que dans les ménages. Votre comportement en tant qu'individu, chez vous, est un comportement qui n'est pas un comportement avant tout dicté par des calculs économiques. Ce n'est pas avant tout dicté par ça. Quand vous êtes au travail, c'est différent. Là, l'indicateur économique est un indicateur beaucoup plus cardinal dans le pilotage de votre activité.

Donc là, les gens commencent à faire des calculs. Ils se disent : « Le pétrole, ça vaut cher. Il y a des tas de trucs qui valent moins cher. Et puis il y a des tas d'économies qui sont rentables, etc. » Et puis donc *crac !*, on se met à économiser. Et puis, au moment où arrive le deuxième choc, on en rajoute une couche.

Après, vous voyez qu'il y a un autre secteur dans lequel la décrue va arriver très vite après le deuxième choc : c'est le secteur « Industries de l'énergie ». Alors, les industries de l'énergie, c'est deux trucs là-dedans : c'est les raffineries et les centrales électriques. Les raffineries, si on commence à utiliser moins de pétrole, ont moins à raffiner. Du coup elles émettent moins. Ce n'est pas très compliqué à comprendre.

Et la deuxième chose qui va se passer, c'est la mise en route du programme nucléaire français. Qui avait commencé à toute petite vitesse avant, et là, auquel on donne un énorme coup d'accélérateur. Et ça, ça vous fait très fortement baisser les émissions de la production électrique.

Après, vous avez un troisième secteur dont vous voyez qu'il réagit un peu, c'est les chaudières de bâtiments. Et là, c'est pareil. On était en train de mettre des chaudières à fioul partout ; arrive le choc pétrolier ; on arrête de mettre des chaudières à fioul partout. Et on se met à mettre des radiateurs électriques partout et des chaudières à gaz partout. Et là vous voyez que, *crac !*, ça permet également de faire baisser les émissions.

Il y a un secteur dont vous voyez qu'il passe à travers ces deux chocs – et ça lui fait à peu près ni chaud ni froid –, c'est les transports. Et en fait, la raison pour laquelle les transports passent à travers cette évolution sans que cela fasse ni chaud ni froid, c'est que dans les transports vous avez essentiellement des individus. C'est-à-dire vous, au volant de votre voiture.

Et à ce moment, votre rationalité économique n'est pas suffisante pour que vous fassiez des tas de calculs savants, en vous disant : « Je n'achète pas la voiture et je vais plutôt aller à pied, en vélo, ça me coûtera moins cher, et prendre le train l'été, etc. » Ce n'est pas du tout comme ça que vous raisonnez.

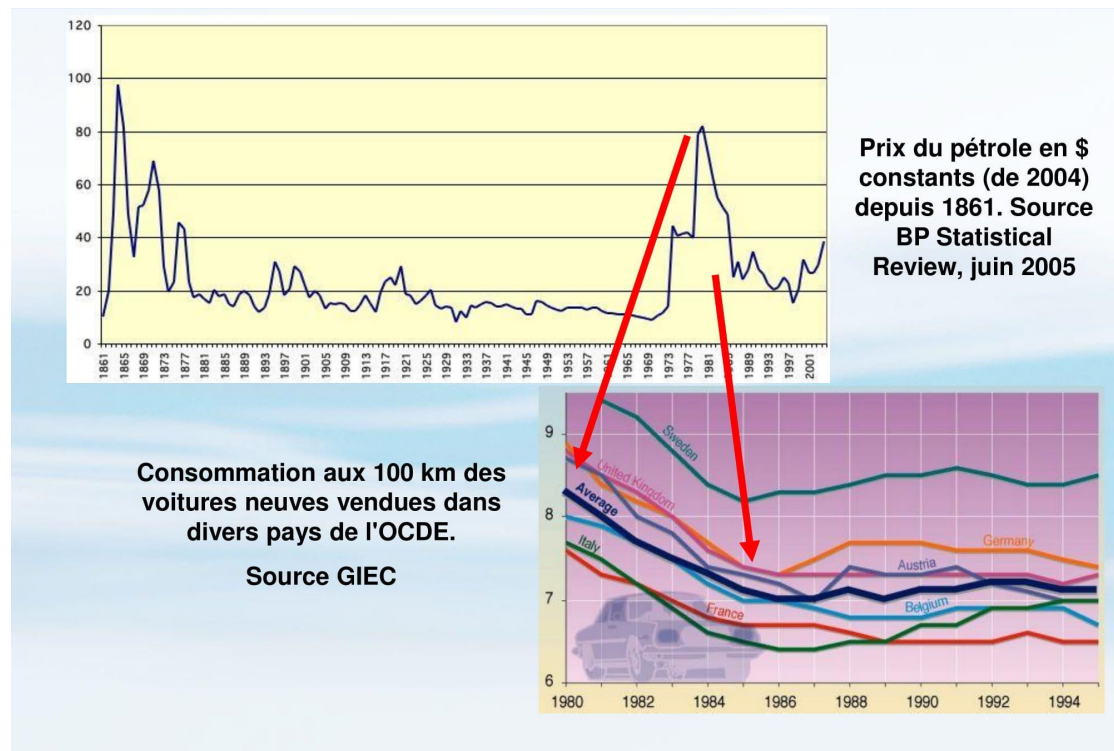
56. EN FAIT LA VÉRITÉ EST DANS LE PRIX

Et donc de fait, ce prix-là... L'augmentation de prix n'est pas suffisante – surtout qu'elle était transitoire – pour casser la dynamique d'accès à la voiture. Surtout en période d'urbanisation croissante et d'augmentation des couronnes périurbaines. Il faudra attendre la contrainte physique sur l'approvisionnement européen et français, pour que, du côté des automobilistes et des camionneurs, on commence à entendre raison.

Donc vous voyez, vous avez deux contraintes qui ont été à l'œuvre dans ce graphique, et qui elles ont engendré des économies (en l'occurrence de CO₂) en valeur absolue : un signal prix et une réglementation qui a commencé à être un peu significative (par exemple, à ce moment-là, on applique une réglementation thermique aux bâtiments qui sont construits). On a des programmes d'économie d'énergie qui se mettent en route, etc.

Et puis ici, la contrainte physique qui fait qu'il n'y en a plus assez pour que ça continue à augmenter. Donc, à ce moment, ça ne peut pas augmenter. Alors, sur les transports, vous voyez ici que l'on a l'impression que cela passe totalement à travers.

57. La morale c'est bien, mais le prix c'est mieux



Diapositive 59.

Alors en fait, si on regarde avec une loupe un indicateur plus précis, on se rend compte que ça ne passe pas complètement à travers. Mais c'est sur une durée trop courte pour que ça puisse avoir un effet.

Vous avez ici le prix du pétrole exprimé en dollars constants – ce que je vous avais déjà montré sur un autre graphique. Alors ma série ne va pas jusqu'à aujourd'hui, mais ce n'est pas nécessaire pour ce que je vais vous expliquer.

Et ici vous avez, dans les pays de l'OCDE, la consommation aux cent kilomètres des véhicules neufs vendus dans l'année. Donc, quand ça baisse, c'est que ça veut dire qu'année après année, les véhicules qu'on a vendus consomment un peu moins que ceux de l'année précédente. C'est ça que ça veut dire. Quand ça ne baisse pas, ça veut dire qu'année après année, les véhicules qu'on a vendus consomment autant que ceux qu'on a vendus l'année précédente. C'est simple.

De 1979 à 1985, nous sommes en période de prix du pétrole – enfin de prix des carburants – très élevés. Parce qu'en fait, les pouvoirs politiques... À ce

57. LA MORALE C'EST BIEN, MAIS LE PRIX C'EST MIEUX

moment-là, les prix sont encadrés. Ils mettent quelques années à rattraper la hausse du prix du baril. Ils ne font pas ça en un seul coup. Et donc, ils ont des prix des carburants qui sont élevés, voire croissants.

Et bien, vous voyez qu'à ce moment-là, entre 1979 et 1985, dans tous les pays de l'OCDE, les consommateurs achètent, année après année... Quand ils achètent une voiture neuve, elle consomme en moyenne un peu moins que ce qu'elle consommait l'année précédente. Et au moment où arrive le contre-choc, c'est-à-dire de nouveau la stabilisation du prix du pétrole à un prix relativement bas, tous les consommateurs s'arrêtent d'être vertueux, quel que soit le pays concerné.

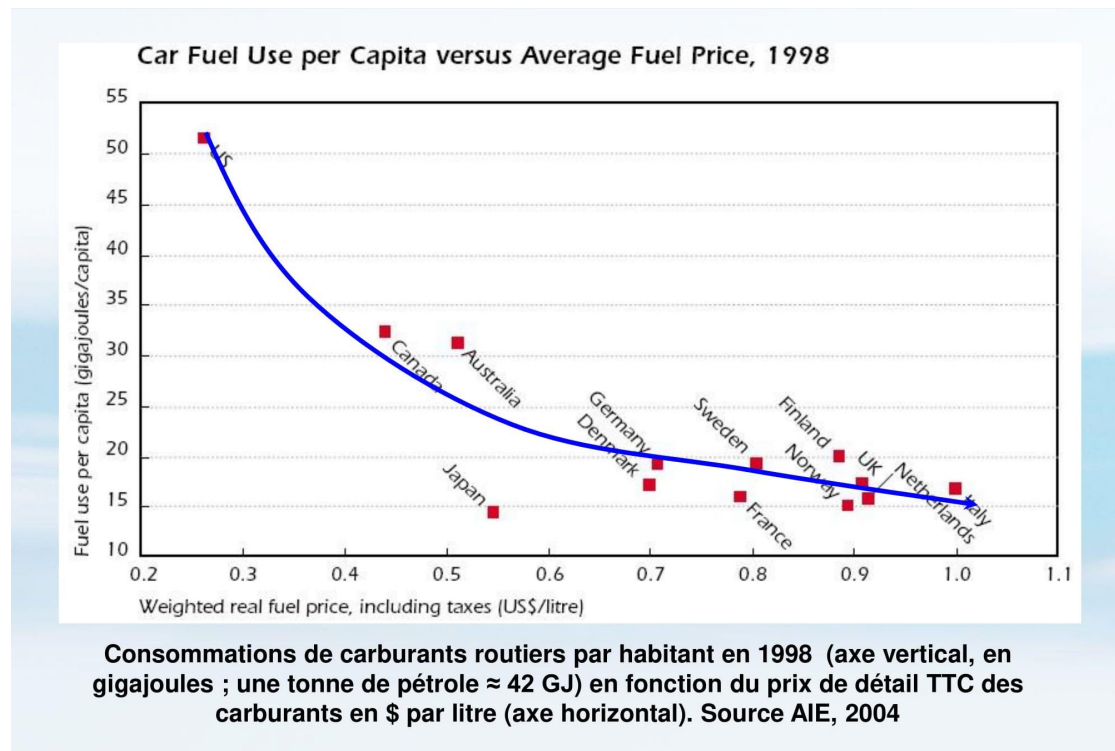
Donc ce que vous voyez là, c'est une autre traduction de ce que l'on appelle le « signal prix ». À partir du moment où on colle une contrainte – et monter le prix des carburants c'est une contrainte – et bien la consommation réagit. Et là, en l'occurrence, la façon dont ça réagit, c'est que les consommateurs achètent des véhicules qui consomment un peu moins.

En 1974 – je finis – le parc de voitures en France est la moitié de ce qu'il est aujourd'hui. La moitié. La différence avec ce que l'on devrait faire aujourd'hui (ou ce que l'on fait aujourd'hui), c'est que vous avez beaucoup moins de gens qui habitent dans des couronnes périurbaines et qui sont tributaires de la voiture pour aller au travail. C'est une population qui est beaucoup plus faible.

Ou bien les urbains sont urbains. À Paris vous vous baladez à pied. Donc si vous ne voulez plus de voiture à Paris, vous survivez très bien, ce n'est pas un sujet. Et même si vous n'avez plus de voiture à Neuilly, ou plus de voiture à Saint-Denis, vous survivez très bien.

Par contre, si vous n'avez pas de voiture à Meaux et que vous avez un travail à Saint-Quentin-en-Yvelines, vous survivez un peu moins bien. Et cette population-là a fortement augmenté depuis 1974. Et c'est là que vous allez trouver les gens qui ont commencé à protester quand les prix du carburant sont devenus élevés il y a quelques mois. Ceux que l'on appelle les Gilets Jaunes. Vous allez les trouver dans des endroits, qui ont été créés depuis 1974, de forte dépendance à la voiture. Endroits qui existaient beaucoup moins à l'époque des chocs pétroliers.

58. Bis repetita placent...



Diapositive 60.

Oui? C'est quoi la question?

*** Question auditoire ***

Question sur la baisse de la consommation de carburants.

Non, non, non, non. C'est juste une réaction au signal prix. Et je vais vous montrer un deuxième graphique qui vous dit exactement la même chose.

Ici vous avez la quantité de carburant consommée par personne et par an dans un certain nombre de pays en fonction du prix des carburants à la pompe dans ce même pays. Et ce graphique-là, il est fait à la fin du xx^e siècle. C'est-à-dire, à un moment où les prix du pétrole n'ont pas re-subi l'envolée qu'ils ont subie au début du xxi^e siècle jusqu'en 2008.

Et à ce moment-là, à l'exception des chocs pétroliers, les prix du pétrole – enfin les prix des carburants plus exactement (à la pompe) – reflètent la fiscalité locale dans le pays sur période longue. Dit autrement, les prix des carburants ont été soit durablement chers, soit durablement pas chers dans un certain nombre de pays, en fonction de la politique fiscale du pays.

58. *BIS REPETITA PLACENT...*

Et, ce que vous voyez, c'est que en gros, plus la politique fiscale du pays a été de taxer les carburants, et moins les gens en consomment. Et le système, évidemment, s'adapte quand vous lui laissez le temps. Donc, quand pendant longtemps les prix des carburants sont chers, à ce moment les constructeurs fabriquent des petites voitures.

C'est la raison pour laquelle en Europe – où on a démarré notre histoire pétrolière comme importateur de pétrole, donc ça nous coûte cher –, les constructeurs se sont imposés une efficacité forte sur les moteurs. Parce qu'ils savent que leurs clients ne peuvent pas acheter énormément de carburant.

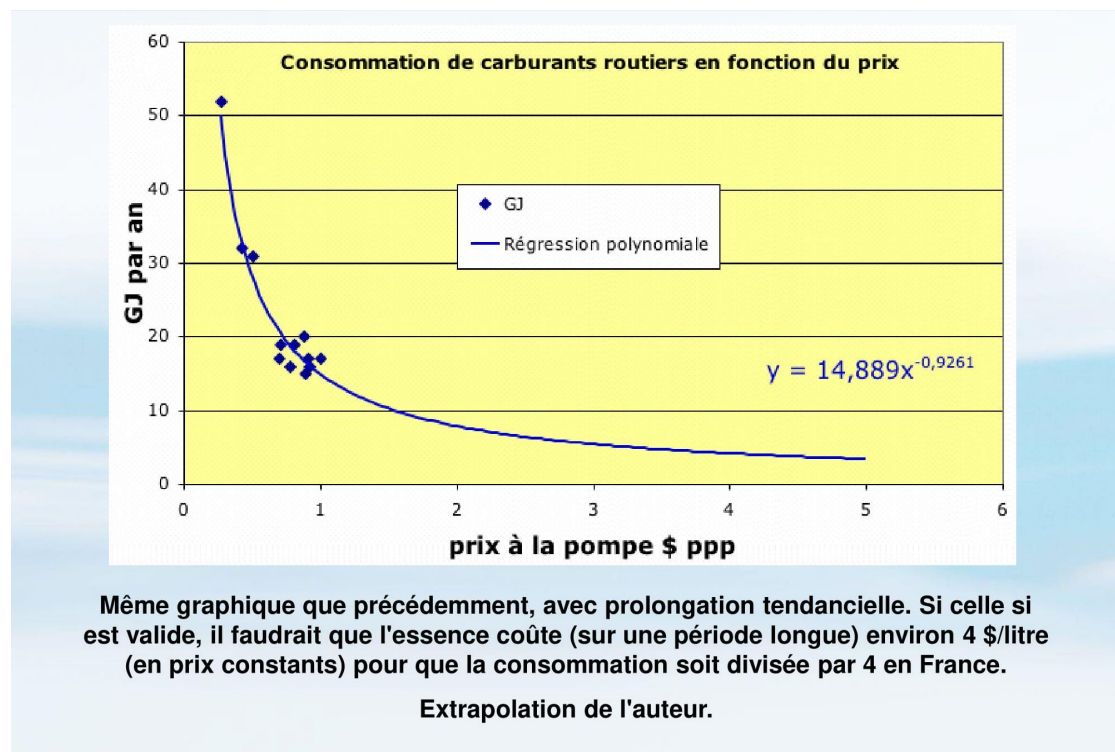
Et on a beaucoup taxé – encore une fois – pour éviter d'en consommer beaucoup. Et donc, on a un système vertueux qui se met en place dans lequel on fait des petites voitures ne consommant pas beaucoup. Alors que dans les pays qui ont démarré leur histoire comme producteurs de carburant – typiquement les États-Unis –, comme ça coule à flot, le truc ne vaut pas cher, du coup on fait des grosses voitures et les gens en consomment beaucoup.

Alors, ce système-là, ça marche bien quand vous laissez le temps à la population de s'ajuster. Si vous avez un ajustement trop rapide que vous imposez à la population, à ce moment, vous créez non pas le phénomène des Gilets Jaunes, mais enfin l'équivalent. C'est-à-dire une partie de la population qui n'a pas le temps de s'ajuster.

Par exemple, qui n'a pas le temps de renouveler sa voiture avec une voiture d'occasion – parce qu'en général, c'est des gens qui n'achètent pas des voitures neuves – qui consomme beaucoup moins. Ce qui veut dire que la voiture d'occasion, elle doit être vendue depuis longtemps. Ce qui veut dire qu'elle a dû être achetée par quelqu'un d'autre qui avait une raison de l'acheter alors qu'elle ne consomme pas beaucoup, etc.

Donc vous avez tout un système qui doit se mettre en place, et ça prend du temps. Donc, si vous lui laissez le temps de s'ajuster, ça marche bien. Sinon, à très court terme, le système s'ajuste moins bien.

59. Combien plus cher ?



Diapositive 61.

Et si vous faites une petite régression sur ce nuage de points, vous arrivez à la conclusion que pour diviser la quantité de carburant par 4, il faut multiplier le prix par 4. Voilà. Donc ça vous donne une petite idée de à combien doit monter le prix de l'essence si on doit passer par un signal prix.

Si on doit passer par un signal prix sur le prix de l'essence, en gros... Si on veut diviser la quantité de carburant utilisée en France par 4 rien qu'avec une taxe carbone, il faut que l'essence passe à 6 euros le litre. D'accord? Voilà. Donc, je vous laisse apprécier de la facilité qu'il y a à mettre ça en œuvre à raisonnablement brefs délais.

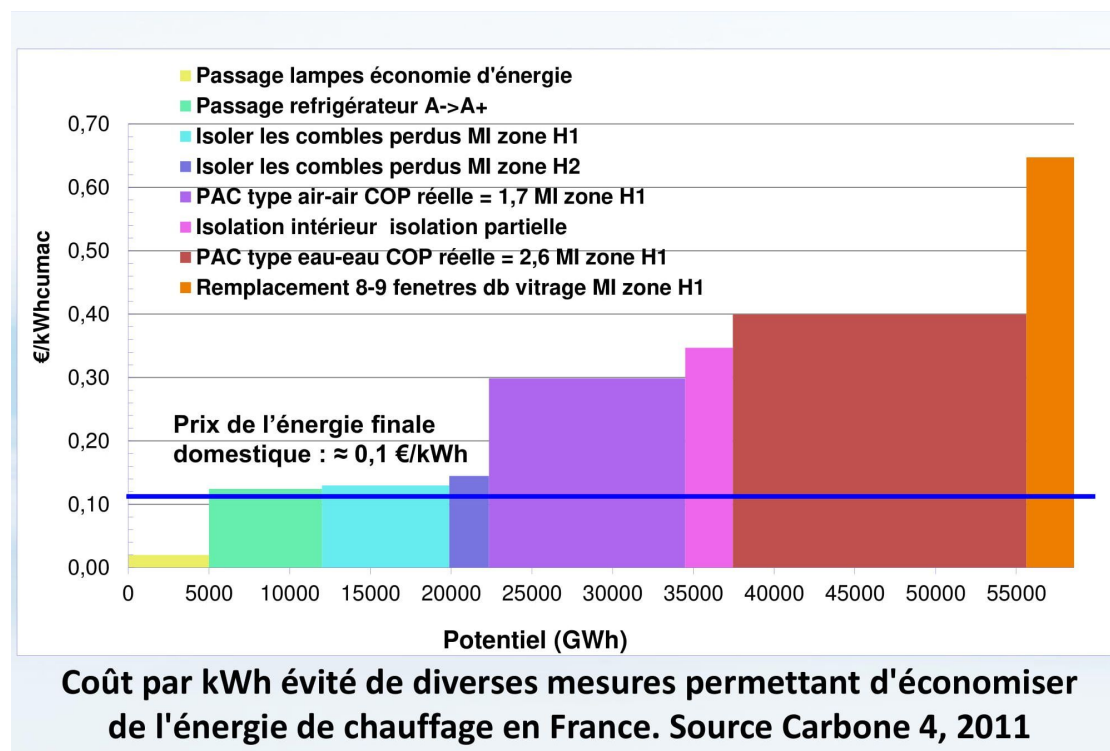
Sachant qu'il y a une autre manière d'arriver exactement au même résultat, qui est de réglementer. Je peux très bien dire, à partir de demain matin – enfin pas demain matin parce qu'il faut le temps que les constructeurs s'ajustent, mais à partir de dans cinq ans – il est interdit de vendre en France une voiture qui consomme plus de 2 litres aux cent. Voilà, je peux dire ça. À ce moment, le parc français va voir sa consommation diminuer par 3.

59. COMBIEN PLUS CHER ?

Alors, j'ai des mesures d'ajustement à mettre. Notamment, dès que je dis ça, les voitures d'occasion qui consomment plus de 2 litres vont se déprécier énormément. Donc, il faut que je prévois des primes à la casse pour les sortir à vitesse accélérée du parc, etc. Notamment pour les gens qui n'ont pas beaucoup d'argent. Mais, avec des mesures d'ajustement de cette nature, je suis capable d'aller beaucoup plus vite qu'avec une augmentation du prix du carburant.

Donc il n'y a pas que le signal prix – et c'est la question qui avait été posée tout à l'heure. Une réglementation, ça peut aussi mettre une contrainte qui est très efficace sur un système. Il n'y a pas que le signal prix qui permet de faire ça.

60. La vertu a un prix, cela reste vrai même pour vous !



Diapositive 63.

Quand on passe par le signal prix, on peut être poussé à faire des gestes, mais là je vais prendre un autre exemple d'un signal prix où ça ne suffit pas, qui est l'isolation des bâtiments.

Vous avez ici le coût – quelque part le coût au kilowattheure évité – d'un certain nombre de gestes que vous pouvez faire sur le bâtiment, qui sont décrits là. Donc, la hauteur de la barre, c'est le coût du geste. La gradation sur l'horizontale, c'est le gisement : dit autrement, la quantité d'énergie que je peux économiser avec ce geste-là. Et ici, vous avez combien coûte aujourd'hui l'énergie qui est facturée aux ménages.

Et bien c'est pareil. Vous voyez, pour que les gestes qui sont sur la droite du graphique-là deviennent rentables avec simplement une hausse du prix de l'énergie facturée aux ménages, il faudrait que ce prix soit multiplié par 4.

60. LA VERTU A UN PRIX, CELA RESTE VRAI MÊME POUR VOUS!

Alors, une première option, c'est de multiplier les prix par 4. Et puis, les gens ronchonnent ou pas. Une deuxième option, c'est de les rendre obligatoires. De dire aux propriétaires : « C'est obligatoire de faire ça. Et puis, si vous ne le faites pas, et bien ou bien vous n'avez pas le droit de vendre, ou bien je vous massacre au niveau des impôts fonciers, etc. » Voilà. Vous pouvez très bien le faire.

Donc il n'y a pas que le signal prix. Encore une fois, c'est une option, mais ce n'est pas la seule. Après... Oui?

*** Question auditoire ***

Question sur le signal réglementaire.

Oui. J'y viendrai après. En fait, parler de prix, ça peut désigner soit un prix explicite : c'est-à-dire qu'il y a vraiment quelqu'un qui vous demande de payer quelque chose au titre de la nuisance : vous émettez une tonne de CO₂, ça vaut tant. Ou bien, ça peut être un coût d'ajustement, c'est-à-dire : je vous interdis d'émettre la tonne de CO₂, et à ce moment, ce que vous allez devoir payer pour vous organiser pour ne pas l'émettre, c'est ça le prix.

Si je vous dis : « Il est interdit d'avoir une chaudière à fioul chez vous parce que ça émet trop de CO₂ pour vous chauffer. Donc, la prochaine fois que ça tombe en panne, vous la remplacez par ce que vous voulez mais pas par une chaudière au fioul. » Et bien vous avez un coût d'ajustement, qui est le coût de la nouvelle chaudière *vs* le coût de la chaudière à fioul, ou plus exactement du brûleur que vous auriez simplement remplacé. D'accord?

Si je vous dis par exemple : « C'est obligatoire de remplacer votre chaudière fioul par une pompe à chaleur la prochaine fois que ça tombe en panne. » Vous avez un coût d'ajustement. Donc, l'interdiction d'émettre du CO₂ avec votre chaudière à fioul ne se matérialise pas par « ça va vous coûter trop cher de payer le fioul », ça se matérialise par « je vous interdis de garder votre chaudière ». Et à ce moment, c'est ce que vous devez payer pour avoir autre chose.

Dans tous les cas de figure, il y a de l'argent qui transite, mais il ne va pas nécessairement au même endroit et il ne concerne pas nécessairement le même objet.

61. Un prix suppose quelqu'un qui paye...

En pratique, le « prix du CO₂ » peut désigner :

L'achat d'un quota négociable sur le « marché du CO₂ »

L'achat d'un quota aux enchères à l'Etat

Le paiement d'une taxe ou d'un droit de douane à l'Etat

Un « coût d'ajustement » pour une nouvelle réglementation

Ou... l'achat de ce qui va permettre d'émettre du CO₂

Diapositive 64.

Soit dit en passant, plus généralement, quand on parle de prix du CO₂ – donc c'est à ça que j'allais venir –, ça peut désigner une des grandeurs suivantes :

- Ça peut désigner, dans le système européen de quotas de CO₂, ce que vous devez payer pour en acquérir un (soit à quelqu'un d'autre, soit à l'État). D'accord ? Je vais revenir après sur ce que c'est.
- Ça peut représenter le paiement d'une taxe. Par exemple, la taxe carbone en France, c'est un prix du CO₂ fiscal. D'accord ? Vous achetez un litre de carburant. Dans le litre de carburant, il y a 3 kg de CO₂. Et bien si le prix du CO₂ c'est 30 euros la tonne, vous allez devoir payer 9 centimes de taxe.
- Si on vous dit : « vous devez faire avec moins de CO₂ », réglementairement, ce prix du CO₂, en fait, peut être un coup d'ajustement. Donc, c'est l'exemple que je viens de développer en disant : « C'est le remplacement de votre chaudière à fioul par autre chose. »

61. UN PRIX SUPPOSE QUELQU'UN QUI PAYE...

- Ça peut aussi désigner quelquefois l'achat de ce qui va permettre d'émettre du CO₂ en prix de marché. Par exemple, si vous achetez un litre de pétrole, de fait c'est l'achat d'un droit à polluer. C'est-à-dire, c'est l'achat du droit de brûler ce litre de pétrole et donc d'émettre du CO₂. Et on peut considérer que le prix du CO₂ est inclus : c'est une partie de ce prix d'achat.

Donc, quand on parle de prix du CO₂, ça peut désigner plein de types de prix différents, et il n'y a pas dans tous les cas de figure le même récipiendaire, c'est-à-dire que ce n'est pas au même endroit que va l'argent.

Si vous avez besoin d'acheter une nouvelle chaudière, ce n'est pas l'État qui perçoit l'argent. Par contre, si vous avez une taxe carbone sur le diesel, c'est l'État qui perçoit l'argent. Si vous achetez un quota à un autre industriel qui en a trop, c'est à l'autre industriel que va l'argent.

Donc l'argent ne va pas au même endroit en fonction de ce que l'on désigne comme étant un prix du CO₂.

62. L'argent ne va pas au même endroit...

Selon le système qui fait naître un « prix du CO₂ » l'argent ne va pas au même endroit :

Taxe ou quotas aux enchères : Etat

Achat d'un quota négociable sur le « marché du CO₂ » : dans les poches d'un autre assujetti (rien pour l'état).

Hausse du prix de marché d'un hydrocarbure : dans les poches du pays producteur

Diapositive 65.

Et en pratique, si vous achetez un quota parce que vous êtes un site... Alors pardon, je vais quand même tout de suite préciser ce que c'est qu'un quota.

Un quota, dans le système européen, c'est une autorisation administrative d'émettre que vous pouvez acheter aux enchères. Si vous avez une cimenterie, votre cimenterie, on lui dit : « Chaque année vous avez le droit d'émettre tant de CO₂. » Évidemment, ça va en décroissant. Donc cette année : un million de tonnes. L'année prochaine : 950 000 tonnes, etc.

Et bien ces tonnes de CO₂, ou bien vous les achetez aux enchères à l'État (pour avoir le droit de faire fonctionner votre cimenterie), ou bien vous les achetez en prix négociés de gré à gré sur un marché, à quelqu'un d'autre à qui on en a donné trop et qui n'en a pas besoin d'autant.

Donc, si vous achetez votre quota – c'est-à-dire votre autorisation administrative d'émettre – aux enchères au début de la partie, c'est à l'État que va l'argent.

62. L'ARGENT NE VA PAS AU MÊME ENDROIT...

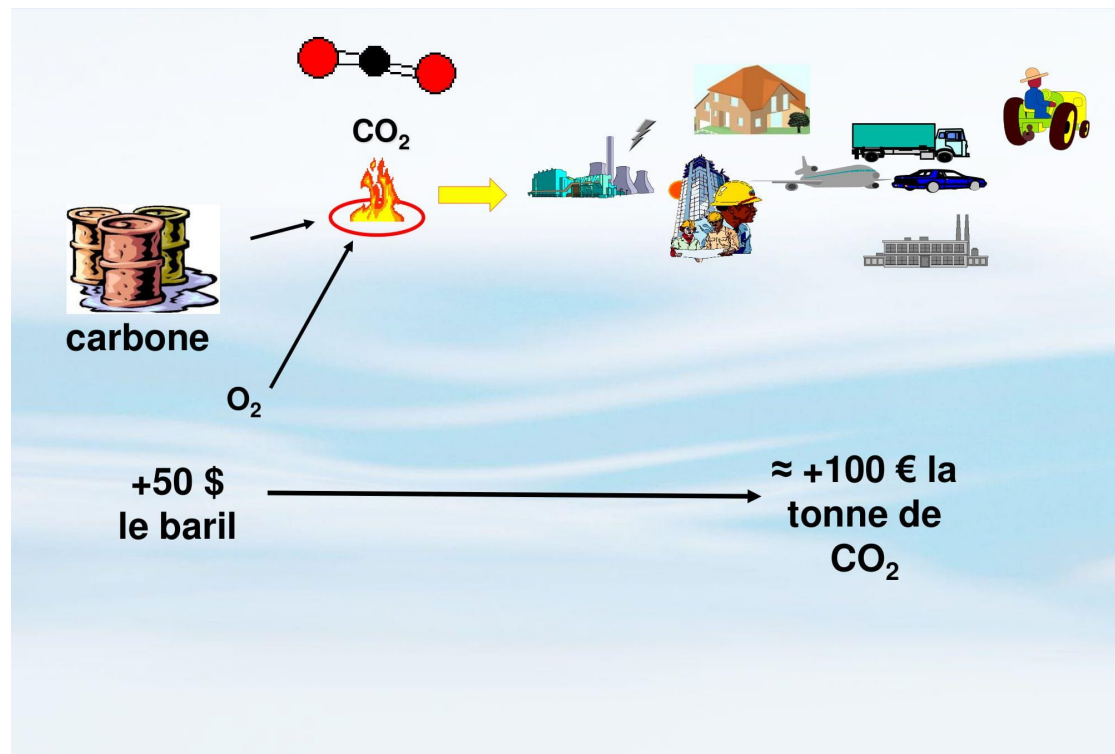
Si vous l'achetez à quelqu'un d'autre qui est dans le système et qui en a trop, c'est à lui que va l'argent.

Si vous avez un prix de marché d'un hydrocarbure qui augmente, c'est au pays producteur que va l'argent.

Si vous avez un coût d'ajustement, c'est à la personne qui vous fournit l'équipement ou le nouveau dispositif que va l'argent.

Donc, l'argent ne va pas toujours au même endroit.

63. Une autre manière de voir le prix du CO₂



Diapositive 66.

Pour finir avec un ordre de grandeur : prix du pétrole *vs* taxe carbone : un truc qu'il faut retenir, c'est que si on augmente le prix du baril de 50 dollars, c'est en gros comme si on créait une taxe carbone à 100 euros la tonne.

Alors maintenant, petite question. À partir du moment où, du pétrole, il n'y en aura pas de plus en plus pour tout le monde pour l'éternité : même s'il n'y a pas d'élasticité de long terme, de temps en temps, il va y avoir des augmentations de prix significatives. Au moment où le prix augmente, c'est comme si l'automobiliste français paye une taxe carbone, mais, au lieu de le payer à l'État français, il la paye à l'État russe, algérien, angolais, etc.

Donc, en fait, au motif qu'il ne veut pas enrichir ces abrutis de fonctionnaires français qui ne font rien, ça veut dire que l'on accepte un peu plus tard d'enrichir les fonctionnaires des autres. Qui évidemment sont beaucoup plus soucieux de nos intérêts...

63. UNE AUTRE MANIÈRE DE VOIR LE PRIX DU CO₂

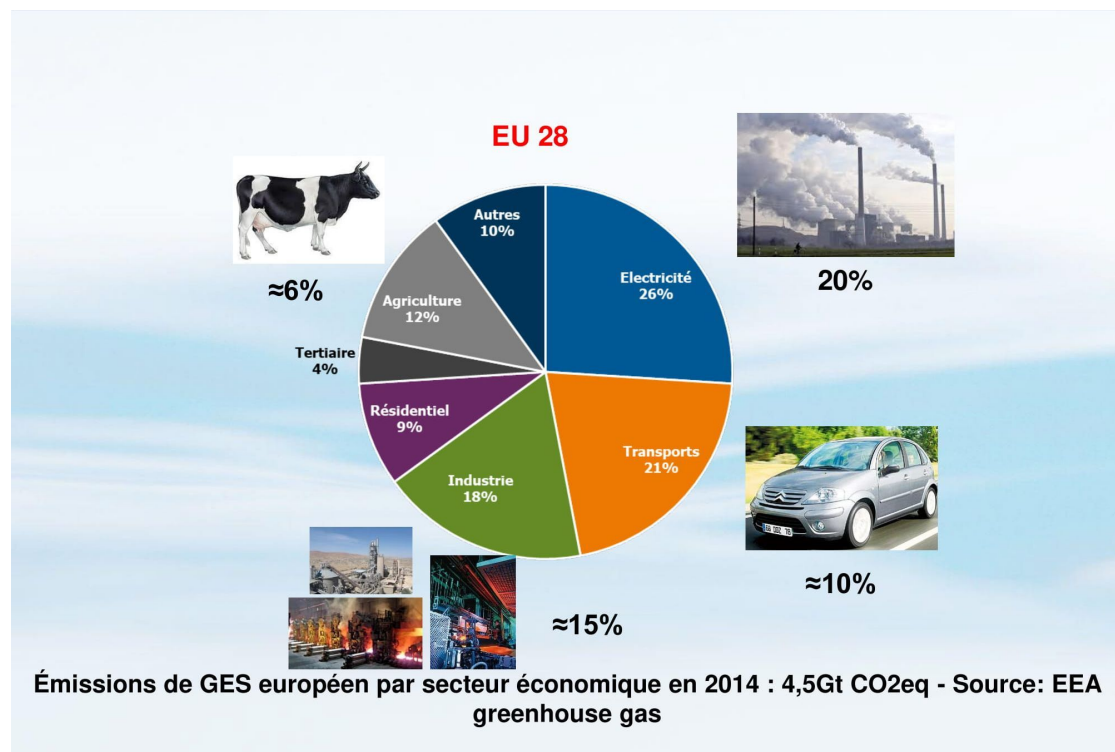
Il faut bien comprendre que dans un système dans lequel de temps en temps, l'insuffisance quantitative se traduit par des augmentations de prix, refuser la taxe carbone (qui consiste à se modérer de nous-mêmes avec de l'argent qui reste dans le pays), c'est accepter une taxe carbone dont le produit fichera le camp hors des frontières.

Après, la bonne question c'est : « Comment est-ce que j'aide les gens qui sont vraiment dans la mouise s'ils doivent la payer, à s'organiser autrement ? » Ce qui est évidemment la bonne question. Donc, dire aux Gilets Jaunes : « Vous allez payer votre carburant plus cher, mais moi je ne me suis pas creusé la cervelle à l'avance pour savoir comment vous alliez pouvoir plus facilement covoiturer, prendre un vélo, un train ou un bus », évidemment que les gens ne sont pas contents. Et ils ont raison.

Mais par contre, dire : « À jamais tout jamais, je n'augmenterai jamais le prix des carburants », ça par contre, c'est se condamner à ce que périodiquement, on ait la balance commerciale qui soit un peu plus déséquilibrée, avec de l'argent qui part chez les autres.

Et quand l'argent part chez les autres parce que le déficit commercial s'accroît, la macroéconomie vous dit que le PIB baisse et le chômage augmente. Ce n'est pas une très bonne idée par rapport au fait de taxer les carburants directement chez nous et garder l'argent pour nous.

64. Carbone? Vous avez dit carbone?



Diapositive 68.

Voilà. Je vais finir avec un exemple. Alors, ce que je vais vous montrer maintenant est un petit *digest* de mesures qu'on a essayé de pousser au Shift Project. Donc c'est ma partie infiltrée dans ce cours. Non...

Je ne vais pas vous le montrer en disant : « C'est ça qu'il faut faire. » Je vais juste vous le montrer en disant : « Pour les mesures que l'on propose au Shift, voilà, en gros, le type d'instruments réglementaires que l'on propose d'employer. » Pour que vous compreniez encore une fois qu'il n'y a pas juste la taxe carbone qui fait le job, et qu'il y a des tas d'autres instruments qui sont employables pour mettre en œuvre des économies d'énergie.

Ici vous avez la décomposition des émissions européennes par grands blocs. Alors, dans l'électricité, les centrales à charbon à elles toutes seules font 20% (c'est marrant hein, en Europe comme dans le monde). Dans les transports, les voitures à elles toutes seules font 10%. Dans l'industrie, l'industrie de base à elle toute seule fait un gros 15%. Et enfin, dans l'alimentation, les vaches à elles toutes seules font 6–8%.

64. CARBONE ? VOUS AVEZ DIT CARBONE ?

Alors on a conçu un ensemble de mesures qui nous paraissent – comment dire – obligatoires si on veut être sérieux sur la question. Si vous voulez diviser les émissions par 3, vous ne pouvez pas faire l’impasse de ne pas vous attaquer aux premiers postes de chaque part de camembert. C’est juste de l’arithmétique de base. Vous ne pouvez pas diviser les émissions par 3 en vous occupant que des trombones.

Donc, à partir du moment où on veut diviser les émissions par 3, on est obligé de taper dans le dur. Le dur, il est notamment là [centrales à charbon], là [voitures], là [industrie de base], et là [vaches]. Il y a d’autres mesures, je vais vous en parler rapidement.

65. www.decarbonizeurope.org

ÉLECTRICITÉ Fermer toutes les centrales à charbon (réglementation et prix) 	TRANSPORTS Abaisser la consommation maximale des voitures neuves à moins de 2L/100km en 2030 (réglementation + fiscalité) 	TRANSPORTS Remplacer l'autosolisme par bus, covoiturage, vélo, marche, train (réglementation, fiscalité, investissements publics) 
TRANSPORTS Remplacer l'avion par des trains à grande vitesse ou de nuit (réglementation, investissements publics) 	INDUSTRIE Baisser les flux de matériaux primaires produits (réglementation, fiscalité, investissements publics) 	LOGEMENT Décarboner le confort énergétique (réglementation++, fiscalité) 
TERTIAIRE PUBLIC Lancer un grand chantier de rénovation « carbonique » de tous les bâtiments publics 	FILIERE BOIS Développer l'économie de la forêt « durable » : produits en bois, « biosourcés », énergie (réglementation ++, fiscalité) 	ALIMENTATION Diviser par 2 le cheptel, AOC, qualité, haies, baisse des intrants (réglementation, encadrement des prix) 

Diapositive 69.

Et alors, ce que l'on pousse quand on dit : « Il faut s'occuper sérieusement de la question en Europe. »

La première chose que l'on dit, c'est : « Il faut fermer les centrales à charbon. » Pour les fermer et les remplacer par du décarboné. Alors, le décarboné : vous aimez le nucléaire, vous mettez du nucléaire. Vous n'aimez pas le nucléaire, vous mettez des éoliennes (ça va vous coûter dix fois plus cher mais on s'en fout, vous faites ce que vous voulez). Mais plus de centrales à charbon !

Ça, vous pouvez le faire par voie d'augmentation des prix. Vous mettez une taxe sur l'électricité au charbon. C'est ce qu'ont fait les Anglais. Ça revient à augmenter le prix des quotas avec un prix-plancher. C'est-à-dire que vous ne pouvez pas les acquérir à moins d'un certain prix qui augmente avec le temps. C'est une quasi-tax. Ça marche, les anglais l'ont fait.

Vous pouvez aussi le faire de manière réglementaire. Les États-Unis, au temps d'Obama, ont dit : « Il est interdit de construire une nouvelle centrale électrique dont les émissions sont supérieures à une livre de CO₂ par kilowatt-heure. » Alors, comme le charbon en fait 2, c'est-à-dire 1 kg, ça interdisait de fait

de construire de nouvelles centrales à charbon. Ce qui veut dire qu'au moment où les centrales à charbon actuelles arrivent en fin de vie, vous ne pouvez pas les remplacer par des nouvelles centrales à charbon.

Et bien vous voyez, à ma gauche, j'ai une possibilité par le prix : la taxe. À ma droite, j'ai une possibilité réglementaire. Quel est le meilleur instrument ? Il faut regarder. Mais, on ne peut pas dire, a priori, qu'il n'y a que le prix qui va fonctionner. Peut-être que l'instrument réglementaire marchera encore mieux.

Et vous pouvez faire encore plus violent, comme on fait sur le nucléaire. Je vous signale que sur le nucléaire, on ne s'est pas posé la question de savoir si en Allemagne les centrales étaient compétitives ou pas compétitives. M. HOLLANDE ne s'est pas posé la question de savoir si Fessenheim était compétitive ou pas compétitive. Et il n'est pas qualifié, soit dit en passant, pour dire que c'est dangereux : c'est l'ASN [Autorité de Sécurité Nucléaire] qui l'est.

Il a juste dit : « Je ferme. Point. » Il a décidé. Comme ça. Donc, réglementairement vous pouvez très bien aussi fermer les centrales à charbon. C'est des installations qui ont besoin d'autorisations d'exploitation : vous ne délivrez pas d'autorisation : ça ferme. Point. Donc, vous avez soit l'arme du prix, soit l'arme réglementaire. Et les deux peuvent fonctionner.

En ce qui concerne les voitures, il y a une mesure qui aujourd'hui est une mesure réglementaire qui permettrait de faire baisser la consommation des voitures, c'est d'interdire à la vente des voitures qui consomment plus de *tant*. Ça, c'est une mesure réglementaire.

Vous pouvez monter le prix des carburants et attendre que les constructeurs et les conducteurs s'adaptent, c'est une autre façon de procéder.

Vous pouvez avoir une troisième mesure fiscale que vous pouvez mettre en œuvre, qui est d'avoir un impôt à la détention. On a eu ça en France, ça s'appelait la vignette. La vignette, c'est un malus annuel. C'est très simple. Donc vous avez une voiture, plus elle consomme, plus chaque année vous payez. C'est comme un impôt foncier mais sur la voiture. Chaque année, vous payez une taxe sur votre voiture et elle est d'autant plus élevée que la voiture est grosse.

Bon, bah vous faites ça. Vous n'interdisez pas aux gens qui ont vraiment besoin d'avoir une voiture pour aller au boulot d'acheter une toute petite voiture qui consomme pas, et avec laquelle ils vont payer une taxe annuelle très faible. Voire vous pouvez les aider à acheter une voiture qui ne consomme pas. Et dans le même temps, tous les gens qui ont quoi que ce soit de superflu, *boom !*, vous les assassinez. Et à ce moment vous allez avoir une disparition assez rapide du parc des voitures qui consomment plus de *tant*.

Donc là, vous voyez, vous avez trois instruments à votre disposition. Vous pouvez en rajouter d'autres de nature réglementaire. Par exemple rendre difficile le parking. Tous les gens qui vont au travail en voiture en région parisienne, c'est parce qu'ils ont une place de parking à destination. Vous leur supprimez la place de parking à destination : ils font n'importe quoi mais ils s'adaptent. Donc, encore une fois, il n'y a pas que le signal prix.

Soit dit en passant, il faut que ça aille avec autre chose, qui est d'avoir une mesure alternative. Donc, mon gilet jaune qui fait 25 bornes en bagnole pour aller au travail, si le prix de carburant devient inaccessible, il ne va pas en faire 22 et faire les 3 derniers kilomètres à pied au bord de l'autoroute. Ce n'est pas ça qu'il va faire. Il va descendre dans la rue en disant : « Arrêtez-moi cette taxe carbone. »

Si vous voulez qu'il aille un peu moins en voiture au travail, à ce moment-là, il faut mettre en place des systèmes qui permettent de mutualiser les moyens de transport. Typiquement. Alors ça, c'est ni de la réglementation vers le consommateur, ni de la réglementation vers le constructeur. C'est de la planification.

La planification, ça a été l'heure de gloire de l'État français, et c'est encore autre chose. C'est-à-dire que vous donnez des règles du jeu aux gens qui organisent : aux constructeurs d'infrastructures, aux exploitants d'infrastructures, aux élus locaux, etc. C'est à ces gens-là que vous allez donner les règles du jeu. C'est de nouveau réglementaire mais ce n'est pas directement vers le consommateur final que vous êtes angé.

Alors bon, ça c'était un truc : « Moins d'avion, plus de train. » Soit dit en passant, il y a une proposition actuellement défendue par François RUFFIN, pour ceux d'entre vous qui l'ont vue passer, qui dit qu'ils proposent d'interdire les vols en avion dès que vous pouvez y aller en train en moins de cinq heures. Bon, ça ne sort pas de cette salle, mais je suis tout à fait favorable. On l'a aidé à faire la proposition en question et y'a des gens qui hurlent : « Ahhh ! » Faut savoir ce que l'on veut.

Alors la raison pour laquelle on avait bâti cette proposition, c'était parce que... Vous vous rappelez peut-être que l'Europe a été construite pour que l'on arrête de faire la guerre. J'ai la chance d'être né dans un monde qui n'a jamais connu la guerre. Enfin sur mon propre sol. Mes parents n'ont pas connu ça, mes grands-parents encore moins (il y en a 2 qui y sont morts). Mes arrière-grands-parents non plus. Donc, vous avez cette chance aussi. Je ne sais pas si vous vous rendez compte de ce que ça représente, mais c'est extrêmement précieux. Et l'Europe a été faite pour garder un monde en paix, notamment sur la base des échanges.

Et donc, ce que l'on s'est dit, c'est « quand il y a moins de pétrole, il y a moins d'avions » : si on veut garder des échanges, il faut qu'il y ait quelques trains. Là, c'est pareil. Vous n'arriverez pas, simplement par les prix de marché, à faire en sorte que les constructeurs d'infrastructures fassent des infrastructures – qui sont des trucs qui vont durer un siècle – et avec n'importe quel taux d'actualisation. Ce n'est pas rentable. Je veux dire, il faut qu'il y ait une volonté politique de le faire.

Dans l'industrie lourde – allez, je vous la fais « à la grosse » –, compte tenu du fait que l'efficacité énergétique est très, très difficile à gagner – enfin vous ne gagnerez pas un facteur 3 –, il faut en gros limiter la production de matériaux de base par un facteur 3. Il faut le diviser par un facteur 3. Il faut faire 3 fois moins ciment, de plastique, d'acier, etc. Vous n'y arriverez pas uniquement par les prix. Là c'est pareil, il y aura des contraintes réglementaires que vous allez devoir mettre en place.

En ce qui concerne les bâtiments, là c'est pareil. Si vous dites : « J'attends que le prix du fioul monte pour que les gens isolent leurs bâtiments », vous n'y serez jamais dans les bons ordres de grandeur. Donc là, il faut obliger les propriétaires à faire, sinon ça ne marche pas. Donc, il faut passer par la réglementation.

C'est typiquement ce que l'on commence à voir apparaître dans quelques pays. La Grande-Bretagne a interdit le renouvellement du fioul par du fioul en 2022–2023. Le Danemark a fait pareil. Donc, vous avez un certain nombre de pays dans lesquels aujourd'hui, par exemple, il est interdit de renouveler une chaudière à fioul par une chaudière à fioul.

Au Danemark, il sera même interdit d'avoir une chaudière à fioul à partir d'une certaine année. Donc, si vous en avez une, vous savez que vous avez jusqu'à telle année pour la remplacer par autre chose. Ça, ce n'est pas une mesure de signal prix, c'est typiquement une mesure réglementaire.

Bon, ça, c'est les bâtiments publics, c'est exactement pareil.

Le développement de la forêt. Là, j'ai envie de dire, c'est le puits de carbone dont on a besoin pour séquestrer une partie croissante de nos émissions. C'est pareil, un arbre, il se passe entre 60 ans et un siècle entre le moment où il est planté et le moment où il est coupé.

Est-ce que vous pensez que l'on peut raisonnablement planifier 60 à 100 ans sur la base des prix de marché de la semaine dernière? Est-ce que vous croyez raisonnablement que l'on peut faire ça? Évidemment que non!

Est-ce que vous pouvez faire ça sur la base d'une promesse de modifier les prix de marché sur les 50 ans qui viennent ? Vous allez quand même y regarder à deux fois.

Donc, c'est typiquement des domaines dans lesquels ça passera aussi par la réglementation. Je vais vous donner une réglementation parmi d'autres possibles. Vous allez peut-être la trouver idiote mais c'est juste pour illustrer mon propos.

Vous pouvez très bien dire aujourd'hui : « Il n'y a plus une parcelle agricole qui ne soit pas bordée par une haie d'au moins deux mètres d'épaisseur avec des arbres de haute tige. » Voilà un exemple. Et bien là, je ne vais pas mettre un prix du CO₂ jusqu'au moment où l'agriculteur va se dire : « Tiens, c'est rentable pour moi de planter des arbres. » J'ai juste à lui dire : « C'est obligatoire. »

Donc voilà, c'est un exemple et je pourrais en prendre plein d'autres. Donc, c'est là aussi un domaine dans lequel le prix du CO₂ – enfin le prix de marché plus exactement –, ce n'est pas ça qui va faire l'essentiel du job.

Et enfin, un dernier point. En ce qui concerne l'alimentation, en gros, si je prends – et je vous l'avais sorti au moment des émissions – l'empreinte carbone de l'alimentation d'un français, la moitié c'est le cheptel bovin (en ordre de grandeur). Donc, on ne fera pas l'économie d'avoir moins de vaches.

Si vous passez par les prix de marché, alors vous dites : « Je vais taxer le méthane. » Du coup, le kilogramme de bœuf coûte plus cher au consommateur, mais le producteur ne gagne pas plus par kilogramme de bœuf. On est d'accord ? Donc, si je monte les prix de marché jusqu'au moment où le kilogramme de bœuf vaut deux fois plus cher pour le consommateur, ça veut dire que le producteur, on lui en achète deux fois moins, au même prix au kilogramme qu'aujourd'hui. Donc, vous doublez le nombre de suicides et vous désertifiez encore plus les campagnes.

La seule manière d'éviter ça, c'est d'encadrer les prix en sortie de ferme et donc de dire aux producteurs : « Je t'achète ton kilogramme de bœuf 3 fois plus cher à condition qu'ils soient dans les prés, sans soja... Sans OGM ou pas, on s'en fout. Dans des prés dans lesquels il y a des haies, etc. Tu en auras 2 fois moins, mais je te le paye 3 fois plus cher. » Et à ce moment, vous avez une équation qui est totalement différente, mais qui est totalement impossible à mettre en place sans réglementation. Vous avez un système de prix encadrés : ça s'appelle de la réglementation.

Les AOC, les appellations d'origine contrôlée, c'est de la réglementation. Vous ne pouvez pas faire du comté si vous n'êtes pas en Comté, avec du foin,

etc. C'est réglementaire. D'accord ? Et donc c'est une protection réglementaire d'un type de production qui permet de faire monter les prix.

Donc dans l'agriculture, où ce sont là aussi des systèmes très longs et très lents – parce qu'en gros vous changez les pratiques culturales au renouvellement des générations, c'est comme ça que ça se passe – et bien il est totalement impossible de faire des choses dans les bons ordres de grandeur en comptant uniquement sur un signal prix qui serait « taxer la nuisance ». C'est le seul truc dont je suis à peu près convaincu que ça ne marchera pas.

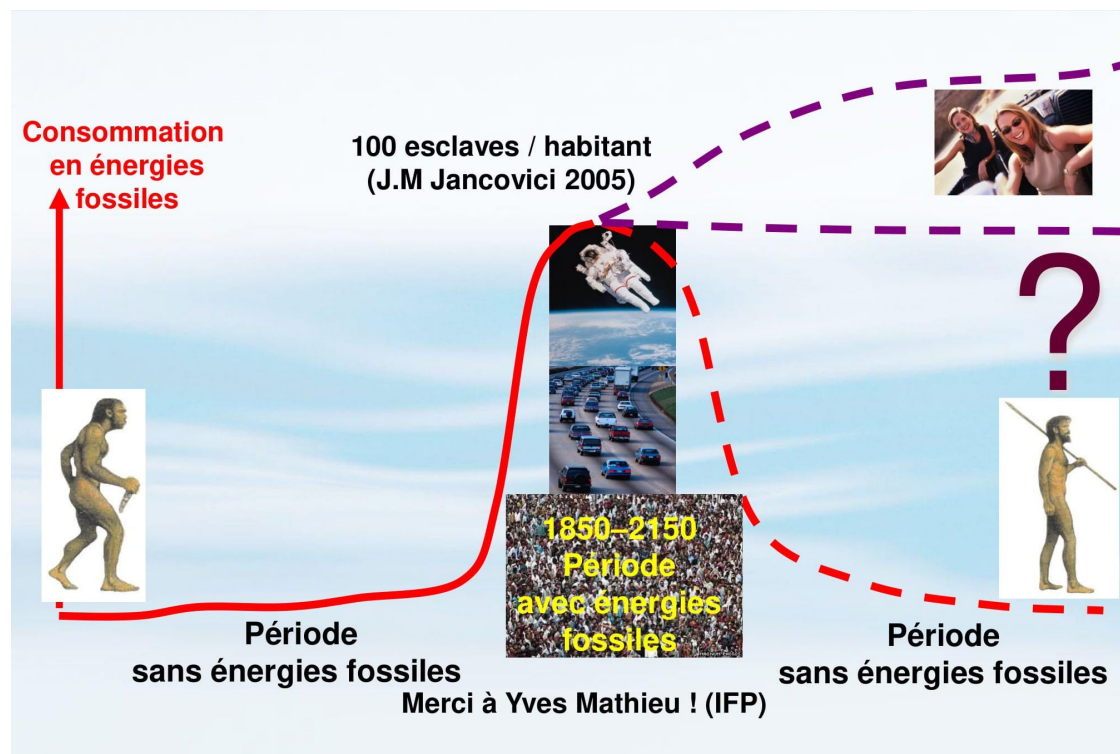
Voilà. Donc encore une fois, je ne suis pas en train de vous vendre ma soupe. Le but du jeu là, c'est simplement de prendre un certain nombre d'exemples illustratifs dans lesquels il est assez facile de comprendre que de passer par un signal prix uniquement, c'est quelque chose qui ne permet pas – quand vous regardez le secteur précis et les acteurs précis du secteur – ça ne permet pas d'avoir l'ajustement du système à la bonne vitesse sans que ça craque de partout. Oui ?

*** Question auditoire ***

Question sur la nature des signaux réglementaires.

Ça dépend. Ça peut être n'importe quoi. Ça peut être décrets, circulaires, lois, directives, etc. En gros, c'est une obligation de faire, ou une normalisation.

66. Du passé vers quel avenir ?



Diapositive 70.

Voilà. Donc la grande question qui était posée pendant ce cours c'est : « Grâce à l'énergie abondante, nous avons eu ça. » Et la question c'est : « Est-ce qu'avec d'énormes économies on est obligé de revenir à ça ou pas ? » Et vous avez compris que la question reste pour partie ouverte.

Alors, je vais quand même vous donner une conclusion. Je ne crois pas à une division par 2 ou 3 de la consommation d'énergie dans le monde et à un maintien du PIB actuel. Personnellement, j'y crois pas. Dire que j'y crois pas, ça veut dire que je suis prêt à prendre le pari avec qui en a envie. En tout cas dans les 30 ans qui viennent.

Mais, pour autant, c'est évident que l'on ne coupera pas aux économies. Parce que, au plus tard au moment où l'approvisionnement diminue pour des raisons physiques, ces économies seront là. Donc j'insiste vraiment là-dessus. Donc ce n'est pas quelque chose qui est du ressort de « on fait ça par supplément d'âme » ou simplement parce que ça ferait bien. Il y a une vraie contrainte physique à gérer, et évidemment, il faut se poser la question de savoir comment on la gère.

Fin.



THE SHIFTERS: association de bénévoles en soutien au SHIFT PROJECT

THE SHIFTERS est un réseau de bénévoles aux profils, expériences et compétences très variés (mais qui se rejoignent par leur intérêt) pour la transition carbone de l'économie, qu'ils soient déjà actifs dans ce domaine ou non.

Les Shifters se consacrent à trois missions:

- *Appuyer* THE SHIFT PROJECT dans ses travaux, en mettant ponctuellement à disposition de l'équipe du SHIFT leur force de travail et/ou leurs compétences.
- *S'informer*, débattre et se former sur la décarbonation de l'économie (sous ses aspects aussi bien scientifiques que techniques et politiques, au sens large, et en termes d'enjeux, d'acteurs, de solutions et d'actualité).
- *Diffuser* les idées et travaux du SHIFT dans leurs propres réseaux et développer de nouveaux réseaux dans la décarbonation de l'économie. Ils s'appuient pour ce faire sur les cinq valeurs fondamentales que sont l'exigence scientifique et technique, l'ouverture, l'impartialité, le professionnalisme et la convivialité.

Rejoindre les Shifters

Que vous soyez traducteur, professeur, en recherche d'emploi, père au foyer, artiste, ingénieur ou écrivain, médecin ou jardinier, antiquaire ou maraîchère, tous les talents sont les bienvenus pour relever ensemble les défis du changement climatique et de la transition énergétique!

- *Si vous voulez nous rejoindre*, rendez-vous sur l'onglet Nos bénévoles « Shifters » à l'URL suivante: <https://theshiftproject.org/equipe/>
- *Pour toute autre question*, vous pouvez envoyer un mail à: contact-shifters@theshiftproject.org.