

Éléments de base sur l'énergie au XXI<sup>e</sup> siècle  
Partie 2 – Les énergies fossiles



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=1NHPgrH5lcQ>

Ce document est placé sous licence 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.

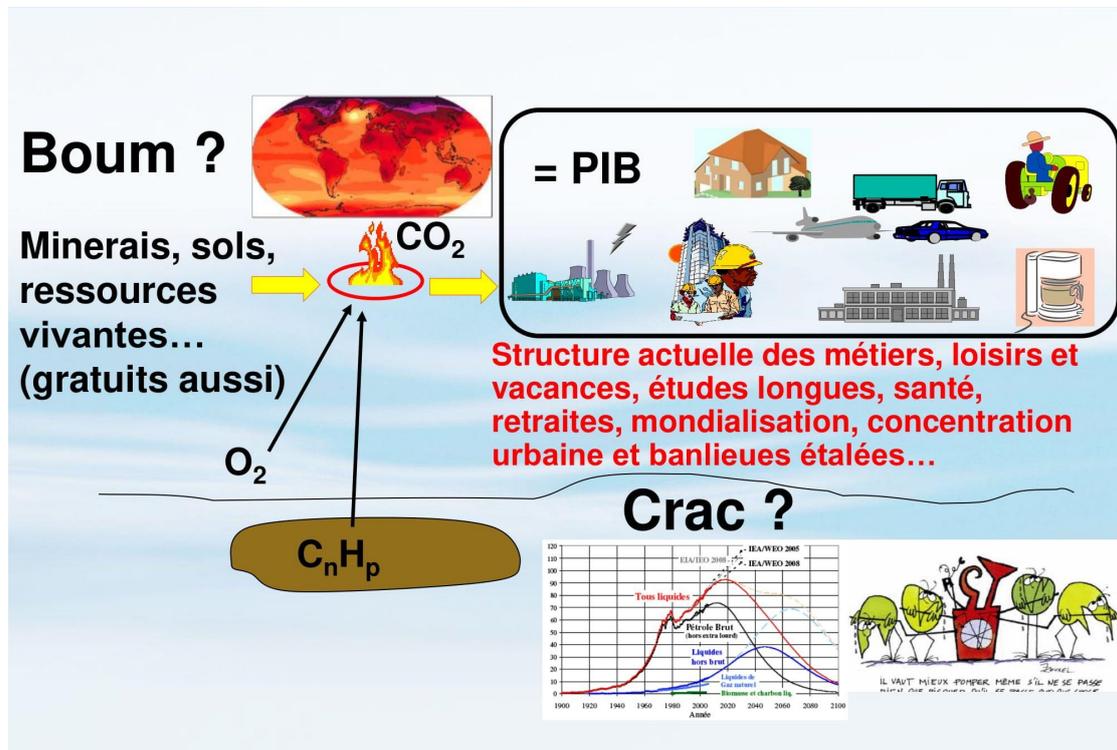
# Table des matières

1	L'ère du feu, croissance à gogo, et 2 questions...	1
2	La France, pays « tout nucléaire »?	2
3	Du pétrole, pour quoi faire?	5
4	Du pétrole, chez qui?	10
5	Du gaz, pour quoi faire?	11
6	Du charbon, chez qui?	12
7	Du charbon, pour quoi faire?	13
8	Où va « notre » pétrole?	16
9	Où va « notre » gaz?	18
10	Où va « notre » charbon?	19
11	L'aventure du pétrole commence à la plage ou presque	21
12	Le pétrole aime la cuisson à petit feu	23
13	Le but du jeu, c'est de piéger l'autre	26
14	On peut être piégé de plusieurs manières	29
15	Le lendemain de cuisson est parfois pâteux	30
16	L'aventure recommence	32
17	Merci, mère nature!	34
18	Pétrole et gaz, des énergies de dinosaure!	36
19	Parlons un peu nomenclature	38
20	Production de quoi exactement?	41
21	Du plancton à l'huile, une sélection plus sévère qu'à ENSMP	43
22	Le pétrole sous terre : réserve or not réserve?	44
23	Plus dur que le sexe d'un bébé : combien de pétrole?	46
24	Un réservoir de géologue n'est pas celui d'une auto...	48
25	Les joies de la nomenclature...	49
26	Les joies de la nomenclature (bis)	51
27	Une réserve, c'est (un peu) pour un prix	54
28	Hydrocarbures de schiste : back to the future	56
29	Plein de trous sans l'ombre d'un dollar de gain?	58
30	Faire le tour du hangar et regarder par le trou de la serrure	60
31	Parlons chiffres	62
32	Mieux vaut d'abord trouver le pétrole si on veut l'extraire	64

33	C'est la petite bête qui descend, qui descend...	65
34	Et il en sortira quoi de tout ça?	66
35	Moins de découvertes parce que nous cherchons moins?	67
36	Mais ça ne suffit pas à produire plus...	70
37	Chère, la technologie!	73
38	Les réserves, normalement sensibles à l'activité des shadoks	74
39	Et en plus les réserves prouvées sont un poker menteur...	92
40	Les réserves sont l'affaire du ministre plus que du PDG	93
41	Les maths, c'est décidément détestable...	95
42	Pic systématique!	98
43	Pic pour un champ	99
44	Pic pour un gros champ	100
45	Pic pour un gros pays	101
46	Un double pic est aussi possible	102
47	Le pic est très rapide pour un puits de shale oil	103
48	Et donc il faut faire des trous en permanence!	105
49	Du champ au pays	106
50	Stock non renouvelable $\Rightarrow$ pic et pic et...	107
51	Comment passer de grosses recettes à de menues dépenses	108
52	Le pic, une réalité déjà fréquente	109
53	Pic de la production... mais pas de la consommation!	110
54	Le pic, une réalité déjà fréquente – 2	114
55	Je gagnais quelques sous, mais c'est du passé!	115
56	Le pic, une réalité déjà fréquente – 3	116
57	Pic du sud	117
58	Au grand jeu du pic, les Européens sont excellents	118
59	Le pic, une réalité qui se combat?	119
60	Un petit coup de microscope	120
61	Mais le baril, ça pèse toujours la même chose?	121
62	Et l'auto-suffisance ce n'est pas vraiment pour tout de suite	123
63	On peut exporter et importer ailleurs que dans le pétrole	124
64	Des découvertes à la production	125
65	Découvertes et productions se ressemblent souvent	127
66	En France, peu de pétrole, mais deux pics!	128
67	Des idées et pas de pétrole, voilà le résultat	129
68	Trois versions d'un $R/P = 40$	131
69	Je crois, mais un peu moins... en attendant de décroître?	133
70	Il y a toujours pétrole et pétrole...	135
71	Et le pic mondial, il est loin papa?	136
72	World energy outlook 2018	137

73	Le prix du pétrole est-il élastique? . . . . .	139
74	Il vaut mieux prévoir le passé que le prix futur . . . . .	141
75	Puis-je avoir de l'économie sans pétrole? . . . . .	143
76	Autant de pétrole qu'on veut, qu'il paraît? . . . . .	146
77	Camionneur en Europe, un métier d'avenir? . . . . .	148
78	Des idées hexagonales mais du pétrole qui ne l'est pas . . . . .	149
79	Combien pour mes précieuses énergies fossiles? . . . . .	150
80	Quel signal faut-il observer? . . . . .	151
81	Plus de pétrole? Mettons les gaz! . . . . .	152
82	Plus de gaz? Sus aux gaz de schiste! . . . . .	153
83	Gaz à tous les étages? . . . . .	154
84	Tout le monde ne pique pas en même temps . . . . .	158
85	Vers le haut... puis vers le bas . . . . .	159
86	Le problème se complique encore! . . . . .	160
87	Et qui arrive en tête des réserves de carbone? . . . . .	162
88	Let's pile everything up . . . . .	164

# 1. L'ère du feu, croissance à gogo, et 2 questions...

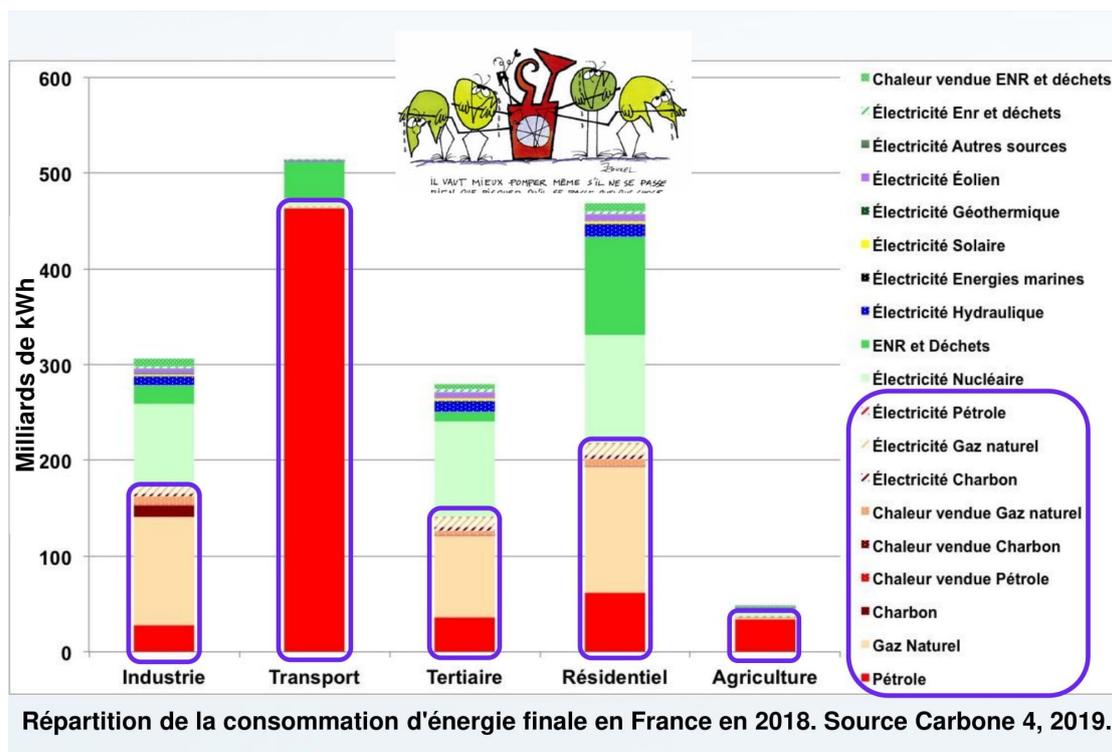


Diapositive 2.

Pour la 2ème partie de ce cours, on va parler des énergies fossiles. C'est ça le but du jeu aujourd'hui.

Si vous deviez retenir une seule chose du cours dernier, c'est cette planche. Donc, très rapidement, en 15 secondes : le monde dans lequel nous vivons – 7 ou 8 milliards d'homo industrialis – c'est aux énergies fossiles (pour l'essentiel) qu'on le doit. Elles ont permis d'alimenter un parc de machines croissant, qui a permis de créer une production croissante, qui nous a donné ce qu'on a coutume d'appeler « notre niveau de vie ».

## 2. La France, pays « tout nucléaire » ?



Diapositive 3.

Vous savez que dans le paysage médiatique français, il arrive que les titres de journaux ne reflètent pas cette réalité. Et je pense qu'il n'y a pas une personne dans cette salle, malgré votre jeune âge (par rapport à moi en tout cas), qui n'ait pas entendu – ou lu plus exactement – que la France était un pays « tout nucléaire ».

Est-ce qu'il y a quelqu'un dans cette salle qui n'a jamais entendu ça dans la presse? Quand vous regardez les débats sur l'énergie dans la presse française, vous avez un élément absorbant du débat qui s'appelle le nucléaire. Donc, en général, assez vite, ça se focalise là-dessus.

Vous avez ici un graphique qui a été fait par l'excellente société dans laquelle je travaille, et dans laquelle on a regardé de quelle énergie primaire – donc de quelle énergie tirée de l'environnement – se nourrissaient les machines qui nous rendent la vie si douce dans le pays.

Selon l'endroit où sont les machines, la colonne ne porte pas le même nom.

## 2. LA FRANCE, PAYS « TOUT NUCLÉAIRE » ?

- La colonne qui est tout à gauche, « Industrie », ce sont des machines qui se trouvent dans les industries. Ce sont celles qui servent à fabriquer une partie des objets qu'on consomme : une partie seulement.
- Dans la case « Transport » ce sont des machines qui servent à déplacer des personnes ou des marchandises.
- Les cases « Tertiaire » et « Résidentiel » ce sont des machines qui sont dans des bâtiments. Donc typiquement la consommation d'énergie des radiateurs de l'école des Mines, du vidéoprojecteur de l'école des Mines et de la cuisine de l'école des Mines. Tout ça se trouve dans le tertiaire.
- Et enfin, si la machine se trouve dans un champ, c'est dans « Agriculture ».

L'ordonnée est en milliards de kilowattheures – en térawattheures – et il s'agit d'énergie finale. Il s'agit donc d'énergie qui passe un compteur avant d'alimenter une machine. C'est de l'énergie qui est payée en général, pas toujours, par le consommateur final.

Ce que je fais maintenant : je cerce la totalité de ce qui, en France, vient des combustibles fossiles dans ce qui alimente le parc de machines qui structure l'activité du pays.

Vous pouvez assez facilement voir sur ce graphique – même sans qu'on parle de chiffres de manière très précise – que l'essentiel de l'énergie dite « finale » – celle qui passe un compteur du consommateur final, que ce soit un consommateur particulier ou un consommateur « entreprise » – est constituée d'un vecteur qui a été fabriqué à partir d'énergies fossiles.

Ce vecteur peut être : des carburants liquides. Ça peut être : de l'électricité faite avec du gaz, de la chaleur faite avec du gaz, etc.

En France, c'est essentiellement des carburants liquides et du gaz final – qu'on utilise directement pour le chauffage ou pour d'autres usages dans l'industrie – qui sont l'essentiel de nos combustibles fossiles. On utilise un peu de charbon, pas beaucoup : ça fait 10% de notre CO<sub>2</sub>. Mais c'est encore moins que ça en quantité d'énergie.

Et l'électricité qui vient du nucléaire, je l'ai mise – à dessein, évidemment, puisque je suis un peu taquin – en vert clair ici.

Vous voyez par exemple dans le résidentiel – donc là où les gens habitent –, le bois et l'électricité d'origine nucléaire représentent des approvisionnements énergétiques qui sont du même ordre de grandeur.

## 2. LA FRANCE, PAYS « TOUT NUCLÉAIRE » ?

*Donc l'essentiel, en France comme ailleurs, des énergies qui alimentent l'exosquelette que nous avons créé, ce sont des énergies fossiles.*

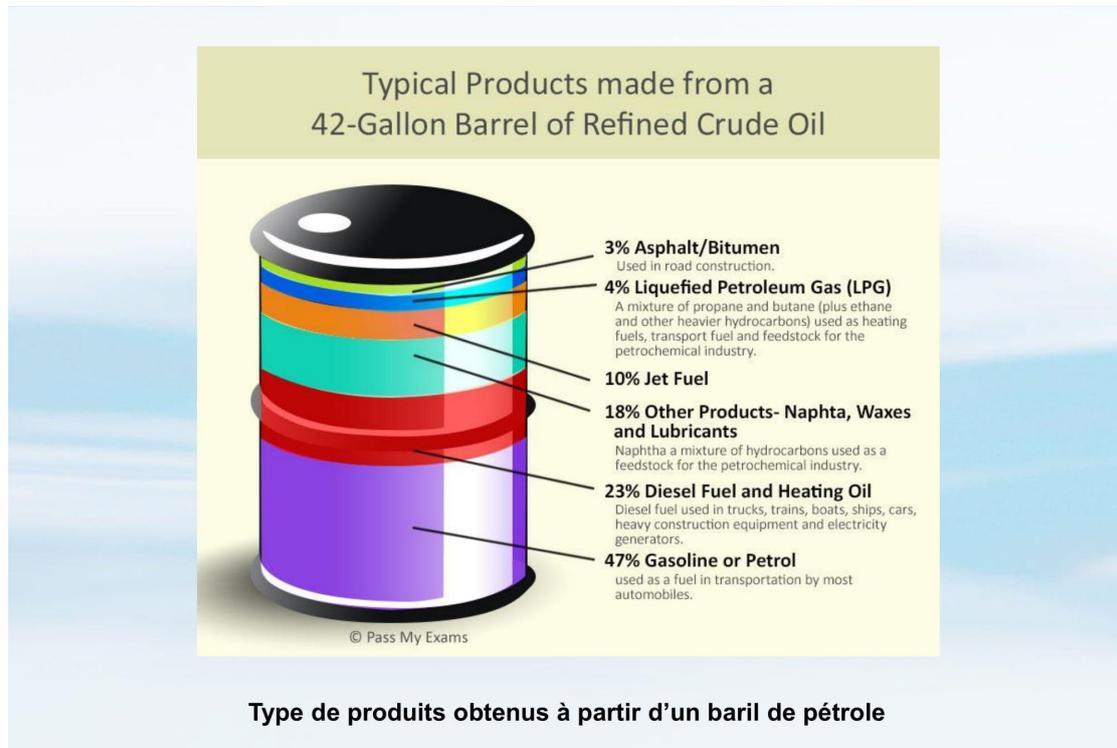
Quand on raisonnera en CO<sub>2</sub>, on verra qu'on ne peut pas raisonner exactement comme ça, parce que la génération électrique se fait avec des machines de Carnot. Donc vous avez beaucoup de pertes dans le système. Mais sur l'énergie finale, c'est très fossile.

Et dans ces énergies fossiles, vous voyez que ce qui domine en France, comme dans tous les pays de la zone qu'on appelle OCDE – c'est-à-dire les pays qui sont anciennement industrialisés, pour dire les choses de manière un peu simple –, c'est du pétrole.

*Donc l'énergie qui domine dans l'approvisionnement énergétique des pays de l'OCDE – États-Unis, Canada, Mexique, l'essentiel de l'Europe, Corée du sud, Australie, Japon, etc. – c'est du pétrole.*

Donc on va commencer par parler du pétrole.

### 3. Du pétrole, pour quoi faire ?



#### Diapositive 4.

Le pétrole, bien évidemment, une fois qu'on l'a fait sortir de terre, on ne s'en sert pas tel quel.

À peu près aucune machine, sauf les chars d'assaut, ne sait utiliser du pétrole brut. Donc on va le raffiner. Ça veut dire qu'on le fait passer dans un grand alambic – un peu moins intéressant que celui qui vous donne de l'eau de vie – et on va distiller ce pétrole et en faire des fractions qui sont constituées de molécules qui ne sont pas de même longueur en ce qui concerne la chaîne carbonée.

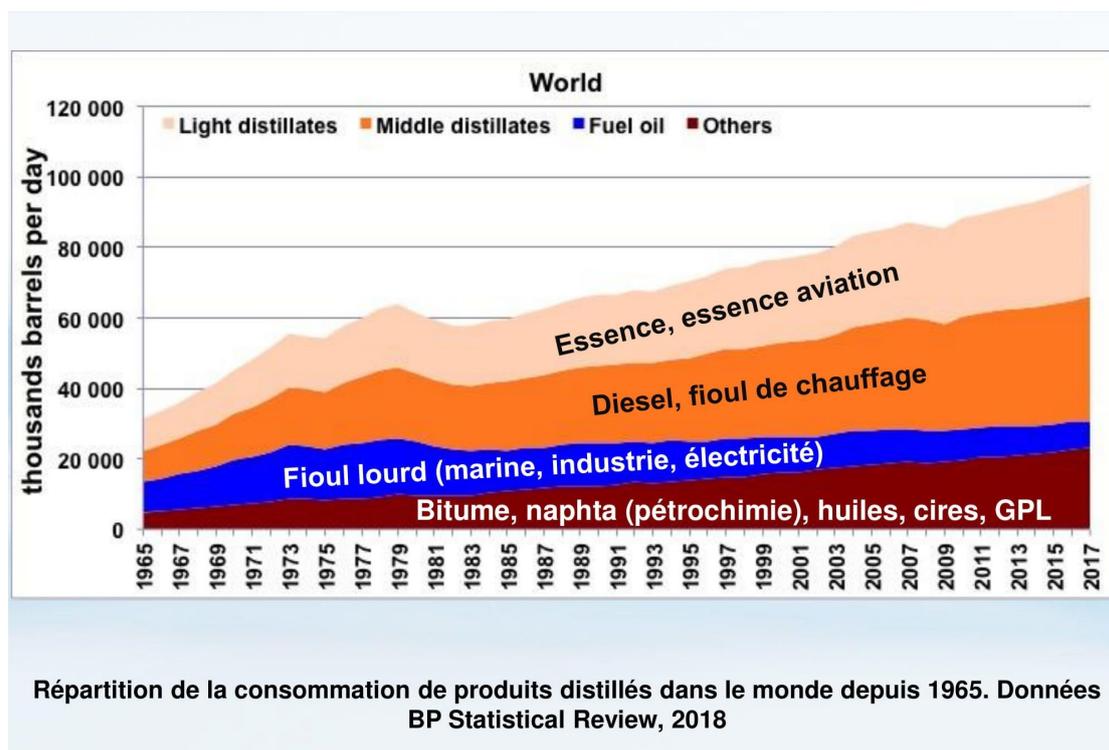
On va séparer les chaînes carbonées entre les chaînes courtes et les chaînes longues. Ici vous avez la décomposition d'un baril de pétrole à l'arrivée – j'ai envie de dire : en sortie de raffinerie – dans lequel :

- Vous avez des produits qui sont légers : le naphta et le GPL. Le naphta, c'est la base de la pétrochimie. La pétrochimie, c'est la chimie organique. Donc toute la chimie organique qu'on a sur Terre est à base gaz ou pétrole.

### 3. DU PÉTROLE, POUR QUOI FAIRE ?

- Vous avez de l'essence.
- Vous avez du diesel.
- Vous avez du fioul, qui sont exactement les mêmes produits.
- Vous avez du kérosène.
- Vous avez les bitumes avec lesquels on recouvre les routes.
- Vous avez des cires et des huiles.
- Et vous avez du coke de pétrole. Le coke de pétrole, c'est le résidu solide qu'on a en fin de distillation et qui, soit dit en passant, sert à alimenter l'énergie de la colonne de distillation. C'est recyclé sur place, sauf quelques usages industriels divers et variés.

Voilà ce qu'on fait essentiellement d'un baril de pétrole.



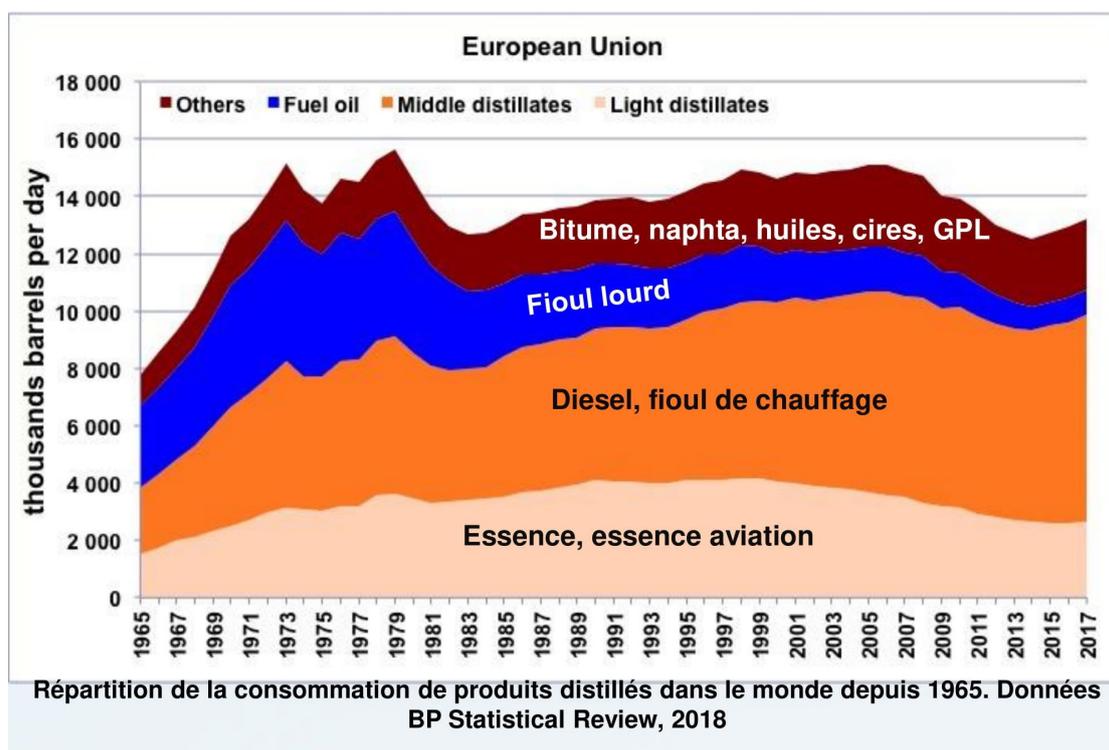
Diapositive 5.

Si on regarde comment évolue la consommation du monde en produits distillés, voilà à quoi ça ressemble : tout en haut, vous avez l'essence et l'essence aviation : l'essentiel de ce truc-là, c'est de l'essence. En dessous, vous avez du

### 3. DU PÉTROLE, POUR QUOI FAIRE ?

gasoil et du fioul de chauffage. Et l'essentiel, c'est du gasoil. En dessous, vous avez du fioul – qu'on appelait autrefois du fioul lourd – qui sert dans la marine marchande, dans l'industrie, et dans la génération électrique. Là, vous avez tout le reste. Donc le naphta, les cires, les huiles, le bitume, le coke de pétrole, etc.

Vous voyez que dans le monde, la consommation de chacun de ces produits augmente. Si je regarde l'Europe, vous voyez que c'est un peu différent :

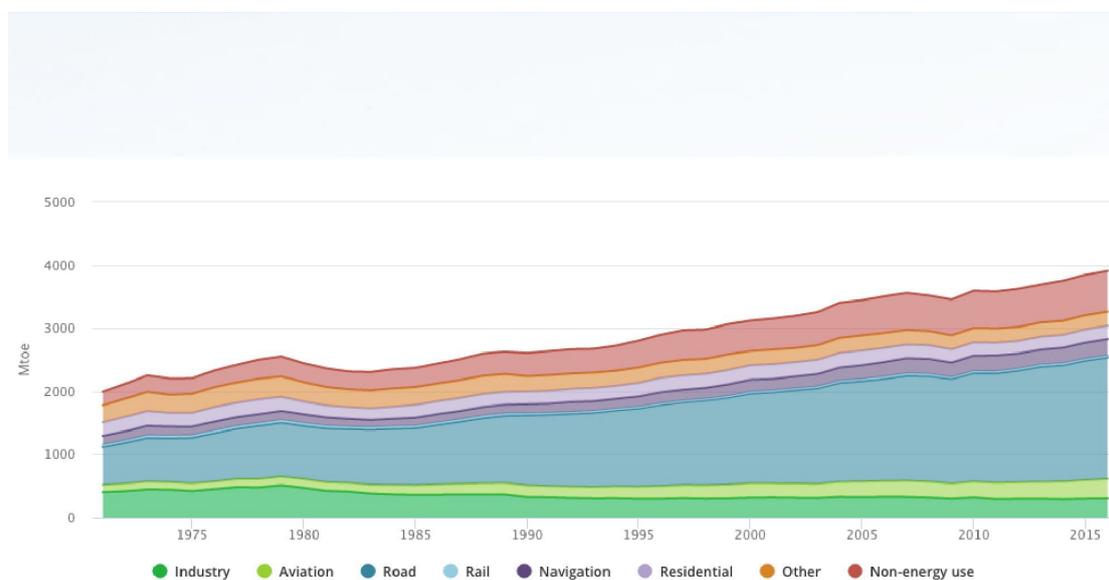


Diapositive 6.

Je vous ai dit la dernière fois que l'Europe était déjà, depuis 2005, sous stress d'approvisionnement en ce qui concerne son pétrole. Elle n'arrive plus à suivre la tendance mondiale (pour des raisons que j'ai un peu évoquées, on y reviendra aujourd'hui) et vous voyez que l'essentiel de ce que consomme l'Europe, en ce qui concerne les produits raffinés, c'est du diesel et du fioul.

Ce n'est pas propre à la France : il y a eu un mouvement croissant de consommation de diesel, de fioul et de kérosène. Le kérosène pour l'aviation est également là-dedans.

### 3. DU PÉTROLE, POUR QUOI FAIRE ?



Répartition par usage du pétrole consommé dans le monde. Données IEA, 2018

#### Diapositive 7.

Si vous regardez pour le monde dans son ensemble, en ce qui concerne les produits raffinés, vous voyez que ce qui est important de noter, c'est qu'ils servent majoritairement les transports routiers...

\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« Quand on regarde le graphique précédent, il y a quand même une diminution notable de la consommation en fioul lourd, à quoi peut-on l'attribuer ? »

Vous avez à la fois la sortie du fioul dans la génération électrique et la sortie du fioul dans l'industrie : ça a été remplacé par du gaz. Ce sont les deux basculements principaux.

Et par ailleurs, on a progressivement adapté les raffineries. Parce qu'en gros, dans une raffinerie, vous rentrez un paquet donné d'atomes de carbone et d'atomes d'hydrogène, et tout ce que vous allez faire dans la raffinerie, c'est que vous les réarrangez de façon différente. Mais grâce à ce cher Lavoisier, tout le carbone que vous ne retrouvez pas dans des produits légers, vous allez le retrouver dans des produits lourds.

Donc si vous organisez ce qu'on appelle votre « coupe de raffinerie » – c'est-à-dire la manière dont se décomposent les produits en sortant de raffinerie – en

### 3. DU PÉTROLE, POUR QUOI FAIRE ?

donnant de l'avantage à des produits plus légers que le fioul lourd (parce que vous voulez augmenter la part d'essence et de diesel), à ce moment, vous allez aussi corrélativement augmenter la part de bitumes, de cires et d'huiles dont vous ne savez pas nécessairement quoi faire. Vous avez toujours un arbitrage qui se passe.

Et l'une des raisons pour lesquelles, en France, on a fiscalement avantageé le diesel, c'est qu'il y a eu un moment, en France, où on consommait « trop d'essence » par rapport à ce que savaient sortir les raffineries.

Donc, à ce moment, on a cherché à favoriser le diesel, histoire de rééquilibrer la donne – notamment après les chocs pétroliers, quand le fioul est sorti rapidement du chauffage des habitations. On s'est dit : « Là on se retrouve avec plein de fioul sur les bras, on ne sait pas quoi en faire, et donc on va essayer de le faire consommer par des voitures. » Ce n'était pas du tout un complot des constructeurs parce qu'ils voulaient qu'il y ait des particules fines partout : c'était juste un rééquilibrage des produits de sortie des raffineries.

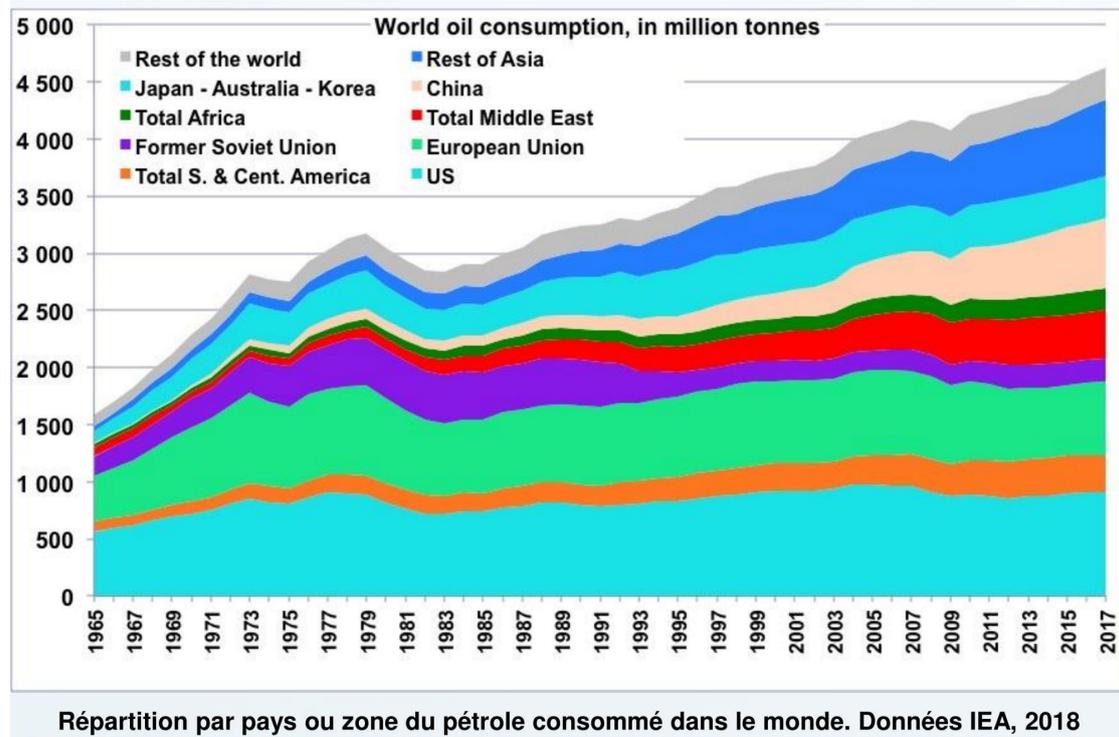
Demain matin, si on dit qu'on interdit le diesel, soit dit en passant, on se retrouve avec 30% de la coupe de raffineries sur les bras dont on ne sait pas quoi faire. Vous ne pouvez pas le mettre dans le chauffage (puisqu'on veut sortir le fioul du chauffage pour des raisons de climat). Vous ne le mettez pas dans l'industrie pour la même raison. Je ne dis pas qu'il faut rester comme on est : je dis juste que c'est un truc à prendre en compte, à garder en tête.

Une raffinerie, ce n'est pas quelque chose qui se paramètre d'un jour sur l'autre. Une fois que vous avez construit votre raffinerie pour qu'elle ait une décomposition donnée en bitumes, etc., ... En fait ce sont des prises dans une colonne de distillation qui sont des prises physiques, à des hauteurs données dans la colonne de distillation. Donc vous ne débranchez pas le machin pour le remettre dix mètres plus bas en disant : « Je vais changer le fractionnement de ma raffinerie. » Ce sont des travaux lourds qui sont nécessaires pour faire ce genre de choses.

Donc je disais : *l'essentiel des produits raffinés servent aux transports* aujourd'hui dans le monde. Et en particulier aux transports routiers. Je l'ai dit la dernière fois, mais je le répète : 98% du transport planétaire est fait avec du pétrole. L'électricité est marginale. Le gaz est marginal. C'est vraiment le pétrole qui domine de la tête et des épaules dans les transports.

Ce qui veut dire aussi une chose : c'est que *le pétrole est par essence* – pardon du mauvais jeu de mots – *l'énergie de la mondialisation*. Il n'y a pas de mondialisation sans pétrole. Et symétriquement, pour qu'il y ait de la mondialisation, il faut du pétrole.

## 4. Du pétrole, chez qui?



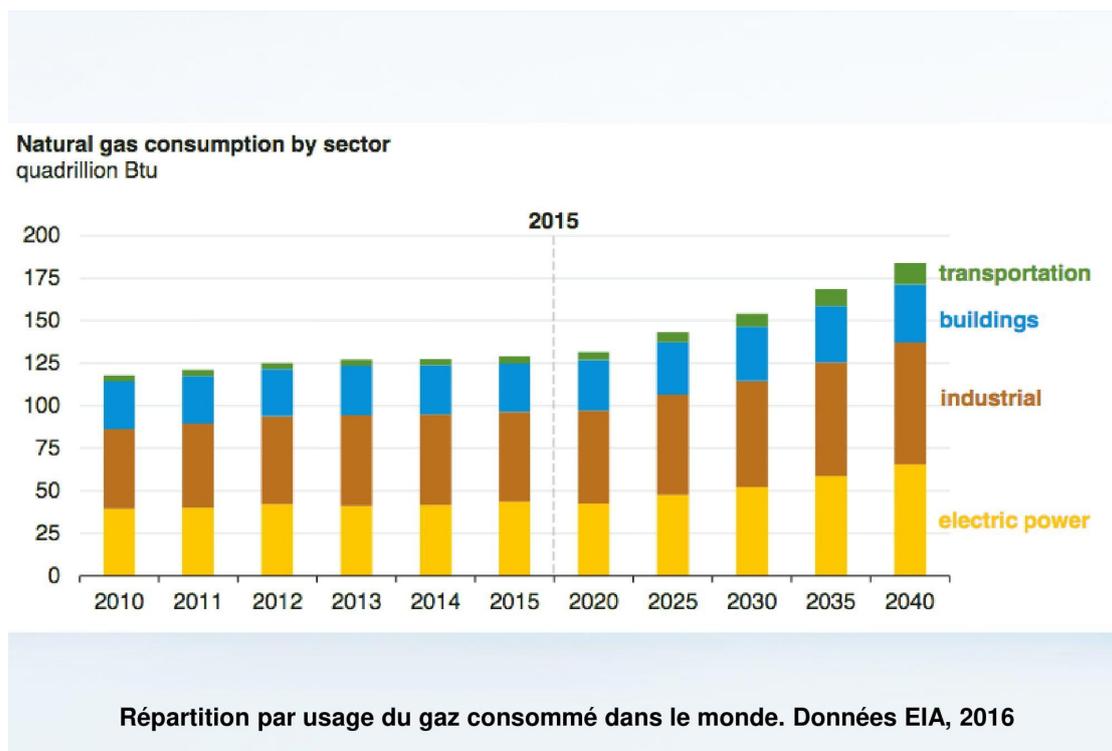
Diapositive 8.

Voilà maintenant une décomposition de la consommation de pétrole par zone.

Ce que vous voyez, c'est que la consommation des États-Unis est raisonnablement constante depuis longtemps; et que c'est depuis longtemps – dans cette décomposition-là – le premier consommateur de pétrole dans le monde. Aujourd'hui encore, les États-Unis consomment pas loin d'un cinquième du pétrole mondial. Ce qui fait quand même beaucoup pour un pays qui ne fait pas un cinquième de la population mondiale, mais plutôt 5%.

Ensuite vous avez diverses zones – vous noterez évidemment l'essor de la Chine dans les périodes récentes.

## 5. Du gaz, pour quoi faire ?



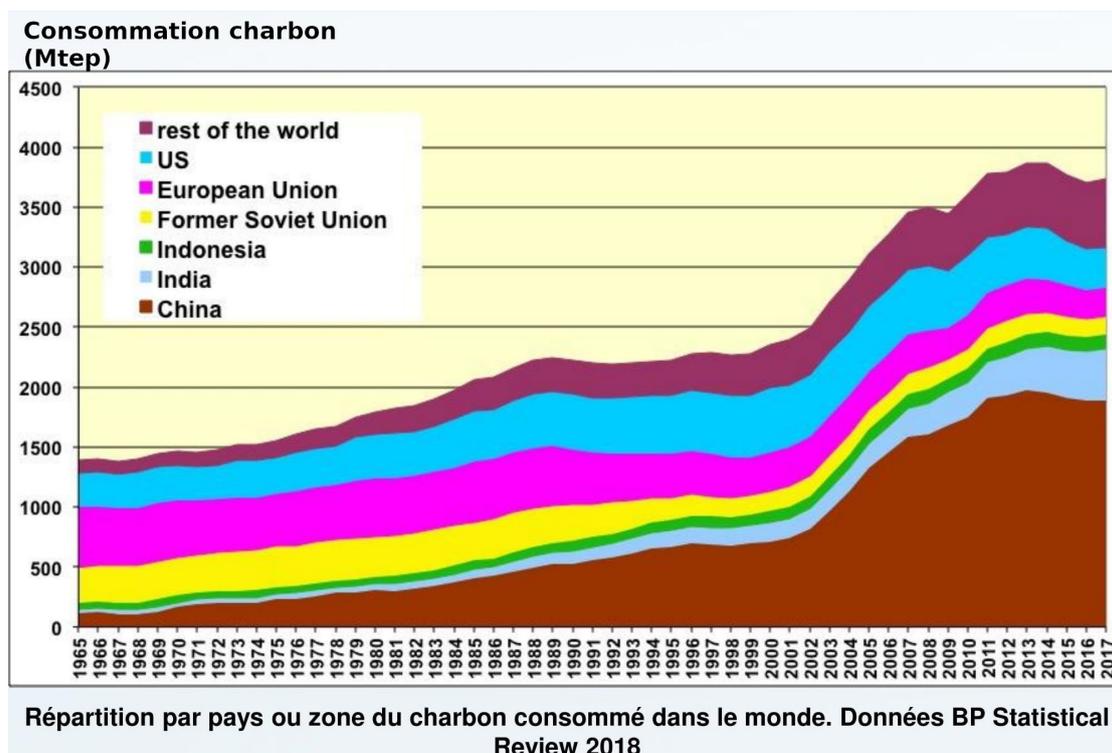
Diapositive 9.

A côté du pétrole, on consomme aussi du gaz.

Vous avez ici la décomposition de la destination du gaz utilisé dans le monde. Là, il s'agit bien « dans le monde ». Retenez qu'en gros, vous avez trois gros paquets : électricité, industrie, chauffage, pour le dire de manière très simple.

En France, c'est le chauffage qui domine de très loin. On a à peu près 60% du gaz qu'on consomme qui est utilisé dans le chauffage. Mais en gros, dans le monde, encore une fois, c'est : électricité, industrie, chauffage.

## 6. Du charbon, chez qui ?



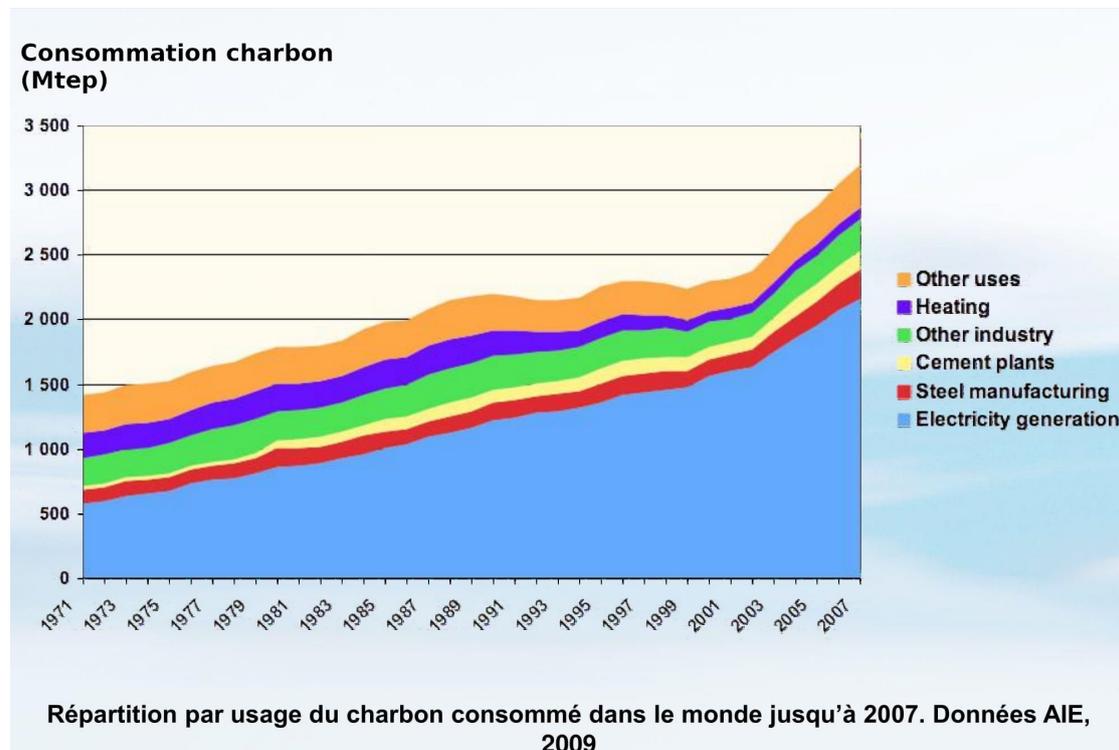
Diapositive 10.

Enfin, on consomme du charbon dans le monde. Et ici, vous avez une décomposition de la consommation de charbon par pays depuis 1965.

Alors, vous voyez il y a une grosse bosse : c'est l'essor industriel de la Chine. Mais avant elle, je vous signale que l'essor industriel de la Corée s'est fait exactement de la même manière. La Corée du Sud a multiplié ses émissions de CO<sub>2</sub> par 27 – entendez bien : par 27 – entre 1965 et aujourd'hui.

Donc là, vous avez exactement le même processus qui s'est produit pour la Chine, qui était insignifiante dans la consommation de charbon en 1965 et qui, aujourd'hui, en utilise la moitié dans le monde.

## 7. Du charbon, pour quoi faire ?



Diapositive 11.

Alors, le charbon, à quoi ça sert ? Je l'avais dit la dernière fois ; j'ai essayé de trouver des chiffres plus récents ; mais je n'y suis pas arrivé. Mais enfin, je sais que c'est toujours des assez gros paquets.

*L'essentiel du charbon qu'on utilise dans le monde sert à la production électrique !* En gros : les deux tiers. Et dans le tiers restant, vous avez une moitié – en gros – qui sert à la production d'acier, qui est du charbon métallurgique.

Alors, ces énergies ne sont pas égales en ce qui concerne leur rayonnement géographique. La seule énergie mondiale que nous ayons – et pour des raisons physiques – c'est le pétrole. Le pétrole est la seule énergie pour laquelle vous avez plus des deux tiers de la production mondiale qui passent une frontière entre le pays de production et le pays de consommation.

La raison à cela, c'est que *le pétrole est très dense par unité de volume*. C'est la plus dense des énergies fossiles par unité de volume. Vous avez 10 kilowatt-heures dans un litre : les autres énergies ne font pas ça.

## 7. DU CHARBON, POUR QUOI FAIRE ?

Dans un litre de gaz à température et pression ambiante, vous avez mille fois moins d'énergie (en gros). Et dans un litre de charbon, vous avez 3 à 4 fois moins d'énergie (ou 2 fois : ça dépend de la qualité du charbon).

Et par ailleurs, c'est liquide, donc ça se transvase, donc ça se transporte et ça se stocke extrêmement facilement avec des déperditions d'énergie dans la chaîne de logistique qui sont très, très faibles.

En ce qui concerne le gaz, vous n'avez que 30% du gaz produit dans le monde qui passe une frontière entre pays de production et pays de consommation. Et là-dedans, vous n'avez que 10% de la production mondiale de gaz, donc 10 sur 30, qui transitent sous forme de gaz liquéfié.

Or le gaz naturel liquéfié – qui se transporte dans des méthaniers (qui sont des espèces de grands frigos sur l'eau : des endroits où c'est comprimé et surtout froid pour que le méthane soit liquide) – c'est la seule forme de transport qui est arbitrale à la demande comme le pétrole.

Pour le pétrole : vous avez mon négociant suisse, de Vitol, qui dit : « Allô ? Le bateau qui va à tel endroit ? On vous achète votre cargaison combien à Anvers ? Non, non, moi je vous l'achète un centime de plus le baril si vous allez à Rotterdam ou si vous allez à la Nouvelle-Orléans. Donc crac ! vous allez changer de route. »

Vous pouvez faire ça avec le pétrole : le pétrole papier, le multiple des échanges par rapport au pétrole physique, c'est un facteur 100. C'est une autre manière de dire qu'une cargaison est négociée des dizaines de fois entre son point de départ et son point d'arrivée.

Alors que, en ce qui concerne le gaz – pour le gaz par « pipeline » – vous ne pouvez pas faire ça. Une fois que vous avez mis le pipeline entre la Russie et l'Allemagne, vous n'avez qu'un seul producteur : la Russie, et qu'un seul client : l'Allemagne. Vous ne pouvez pas avoir un négociant au bout de son téléphone qui dit : « Ah tiens, ça serait quand même beaucoup mieux de mettre le tuyau en Iran et de mettre l'arrivée du tuyau en Espagne. » Vous ne pouvez pas faire un truc comme ça.

Donc les échanges internationaux de gaz par gazoduc sont des échanges qui sont très rigides – puisque vous avez un producteur et un consommateur de l'autre côté.

Et, soit dit en passant, c'est la raison pour laquelle, historiquement, le prix du gaz a été calé sur le prix du pétrole. Le gaz était un substitut au pétrole et il fallait être absolument sûr, tant du côté producteurs que du côté consomma-

## 7. DU CHARBON, POUR QUOI FAIRE ?

teurs, qu'on n'aurait pas envie d'arrêter de consommer du gaz en fonction de ce qu'était le prix du pétrole. Donc on s'est dit : « Le meilleur moyen, c'est que les deux valent la même chose, comme ça on est tranquille. » Et c'est la façon dont les contrats de gaz se sont mis en place dans le monde. C'est pour ça que le gaz est – à peu près partout maintenant, sauf quelques exceptions – indexé sur le prix du pétrole.

Le charbon, hors charbon métallurgique – qui est un charbon qui vaut cher parce qu'il sert à faire de l'acier et que vous n'avez que quelques mines qui savent faire du charbon métallurgique dans le monde (c'est-à-dire du charbon à très haute teneur en carbone qui va servir à donner ensuite du coke, au masculin) – donc à part le charbon métallurgique, vous n'avez que 10% du charbon extrait d'une mine dans le monde qui passe une frontière entre le pays de production et le pays de consommation.

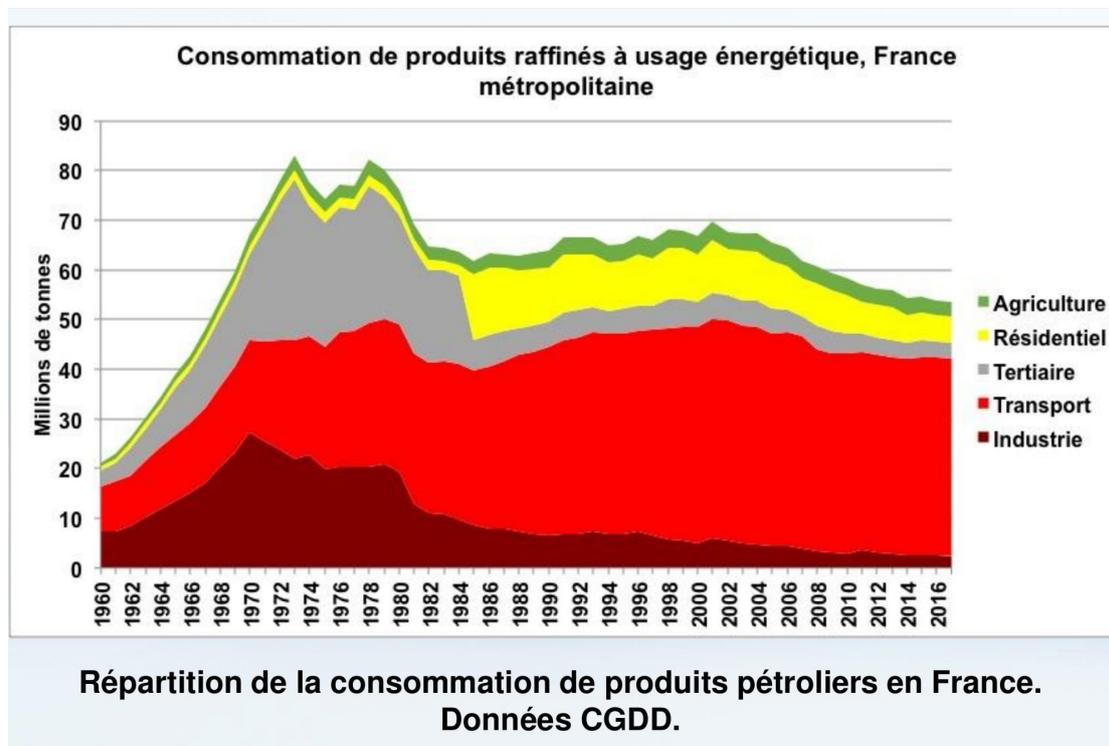
Donc, retenez que quand on va du pétrole vers le charbon en passant par le gaz, on va d'une énergie qui est mondiale par essence à une énergie qui est domestique par essence.

C'est la raison aussi pour laquelle dans les pays qui ne consomment pas de charbon en direct – ce qui est le cas de la France – on a tendance à oublier sa place chez les autres. Parce que, encore une fois, ce qui se passe dans un pays donné est raisonnablement indépendant de ce qui se passe dans les autres pays en ce qui concerne le charbon.

Ce que vous voyez ici, par exemple, c'est que : alors que la Chine explose en ce qui concerne sa consommation de charbon, vous avez d'autres zones dans le monde qui augmentent aussi, mais vous en avez qui diminuent. Et si je prends l'ensemble du reste du monde, vous voyez, il n'y a pas une grosse grosse différence entre là et là.

*Donc, la consommation de charbon est une affaire domestique, je le redis. La consommation de gaz est une affaire régionale, si je schématise. Et la consommation de pétrole, une affaire mondiale.*

## 8. Où va « notre » pétrole ?



Diapositive 12.

Alors, en France, nous consommons des énergies fossiles. Voilà déjà la consommation de pétrole dans le pays.

Alors, ce que vous voyez, c'est que la consommation de pétrole a augmenté très, très fortement jusqu'à ces fameux chocs pétroliers dont je vous ai parlé la dernière fois, et dont je rappelle qu'ils sont la marque de l'arrêt de la croissance de la quantité de pétrole consommée par les pays de l'OCDE.

C'est ça les chocs pétroliers. Donc ce n'est pas juste une variation du prix : c'est une variation instantanée sur le volume et qui a été extrêmement structurante sur ce qui s'est passé ensuite dans l'économie.

Ce que vous voyez, c'est qu'au moment des chocs pétroliers, vous avez une bonne partie du pétrole qui est consommée par l'industrie (ça répond à la question qui était posée tout à l'heure) : une partie par les transports, une bonne partie dans le chauffage – résidentiel et tertiaire –, et vous avez toujours eu une petite partie dans l'agriculture – importante pour la productivité des agriculteurs, mais marginale pour la consommation d'ensemble.

## 8. OÙ VA « NOTRE » PÉTROLE ?

Alors, ne faites pas attention à ce qui se passe là sur le « switch » entre résidentiel et tertiaire. Mon hypothèse est que c'est soit une erreur, soit un artefact statistique : c'est-à-dire qu'il y a une catégorie de bâtiments qui a dû être passée d'une catégorie à l'autre. Regardez le volume global de ce qui est consommé dans les bâtiments et vous voyez que c'était beaucoup plus important au moment des chocs pétroliers qu'aujourd'hui, où ça a été remplacé par du gaz et de l'électricité.

Ce que vous voyez, c'est qu'aujourd'hui *l'essentiel du pétrole qu'on consomme en France va dans les transports.*

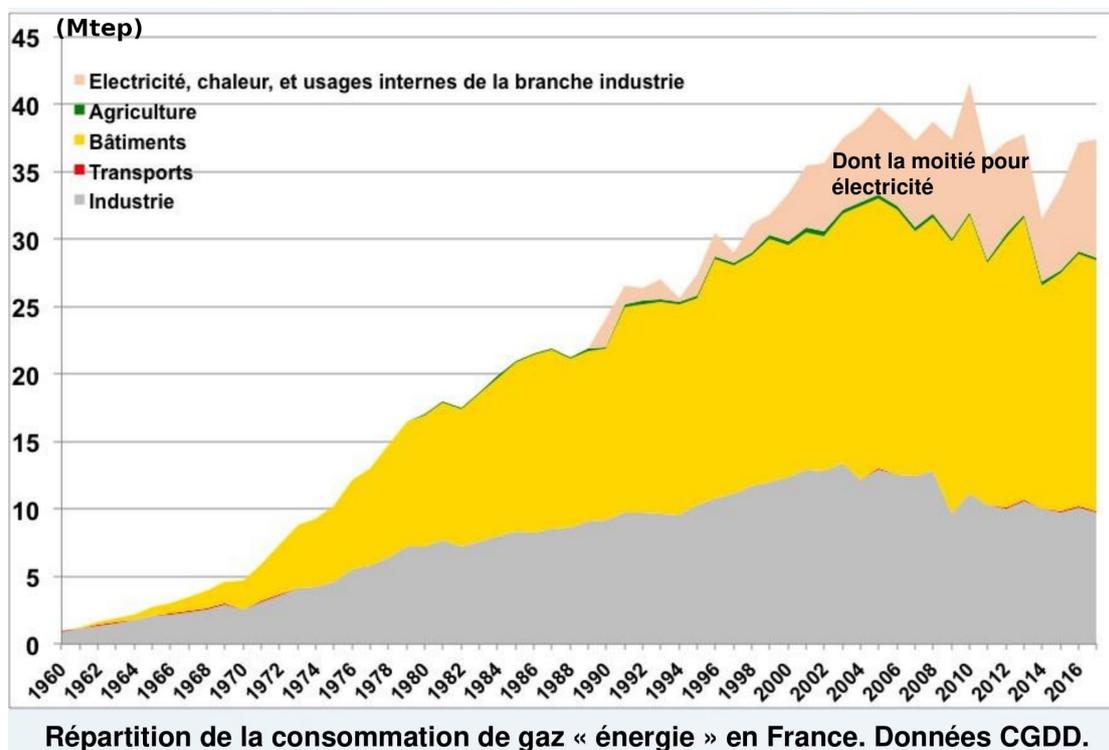
Soit dit en passant, c'est aussi là que le consommateur final est prêt à le payer le plus cher. Ce n'est pas complètement étonnant, j'ai envie de dire, en termes d'arbitrages. Si vous êtes vendeur de produits raffinés, c'est bien ça que vous allez chercher à faire : c'est à le vendre là où le consommateur est prêt à le payer plus cher.

\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« Comment cela se fait-il que la consommation de pétrole a vraiment diminué dans le tertiaire, alors qu'il y a eu une explosion de ce secteur ? »

Je l'ai dit : je ne sais pas, il faudrait que je regarde. Par contre, ce que je sais, c'est que le total des deux c'est l'ensemble de ce qui est consommé dans les bâtiments. Et ça c'est représentatif. C'est un fichier de statistiques que j'ai récupéré sur le site du ministère. Et donc il faudra que j'écrive à qui de droit pour savoir à quoi ça correspond. Je suis, par contre, totalement confiant dans la tendance globale pour l'ensemble des bâtiments. Parce que ça, c'est clair que c'était une substitution par de l'électricité et par du gaz dans bon nombre des cas de figure.

## 9. Où va « notre » gaz ?



Diapositive 13.

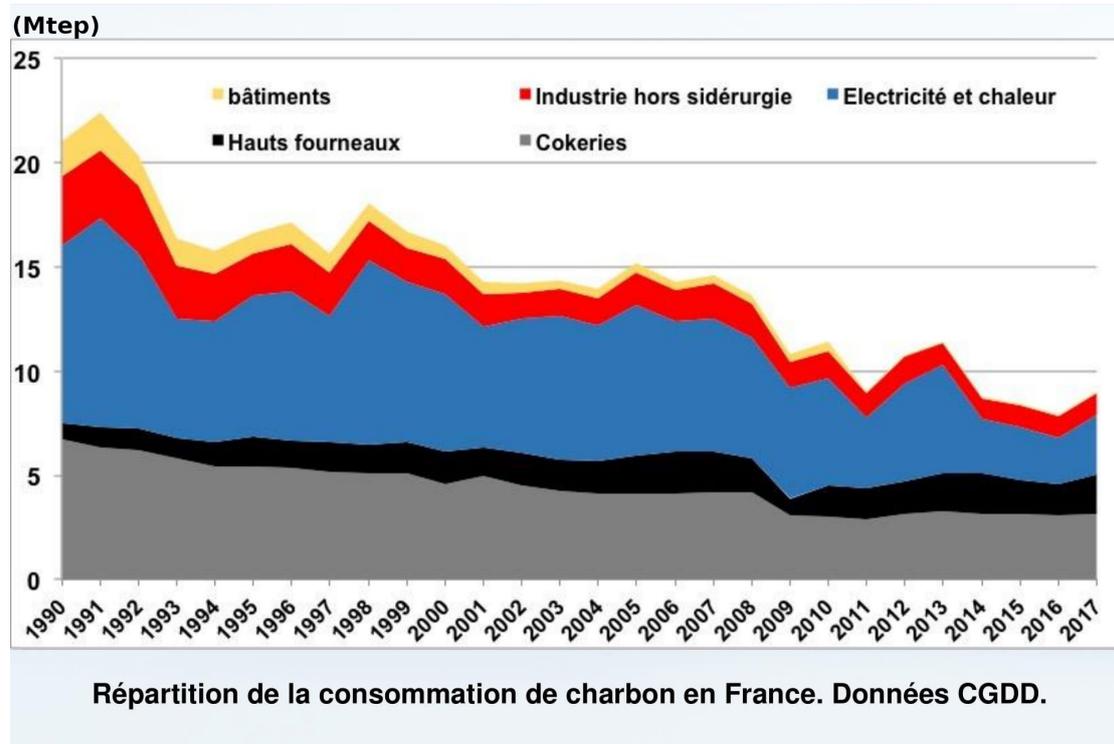
En ce qui concerne le gaz : voilà où va le gaz utilisé en France.

Donc, ce que vous voyez, c'est que *le premier poste de consommation du gaz utilisé en France, c'est le chauffage*. Vous en avez un petit morceau qui va dans l'électricité, mais, en gros, c'est la moitié de la petite partie qui est en haut. Et puis, tout en bas, vous en avez également une partie qui va dans l'industrie.

Alors, notez un truc intéressant. Je vous en avais déjà parlé la dernière fois rapidement, mais je le redis : depuis que la mer du Nord a passé son pic de production, c'est-à-dire 2005, vous voyez que la consommation de gaz en France s'est arrêtée de croître, et qu'elle est globalement en décroissance pour l'ensemble « Bâtiments et Industrie ».

Le moment où la mer du Nord passe son pic, le gaz de la mer du Nord c'est 60 % de l'approvisionnement européen. Aujourd'hui, c'est encore 50%, et on va voir dans pas longtemps que lorsque la Norvège va passer son pic – parce que ce n'est pas encore le cas – probablement que l'approvisionnement de la mer du Nord va descendre encore d'une grosse marche d'escalier.

## 10. Où va « notre » charbon ?



Diapositive 14.

Enfin, nous utilisons du charbon en France. Donc, ici vous avez la quantité de charbon utilisé par secteur.

Vous voyez à nouveau que « Hauts-fourneaux » et « Cokeries », c'est l'ensemble de ce qui est utilisé dans la sidérurgie. Les cokeries, comme je le disais tout à l'heure, font du coke à partir du charbon. C'est-à-dire du carbone presque pur. Et donc, pour ça, on a un traitement spécial du charbon.

Puis on utilise également du charbon qu'on enfourne directement tel quel dans les industries.

Au-dessus, vous avez – sauf erreur de ma part – l'électricité et les réseaux de chaleur. Mais surtout l'électricité. Vous voyez que ça a beaucoup diminué.

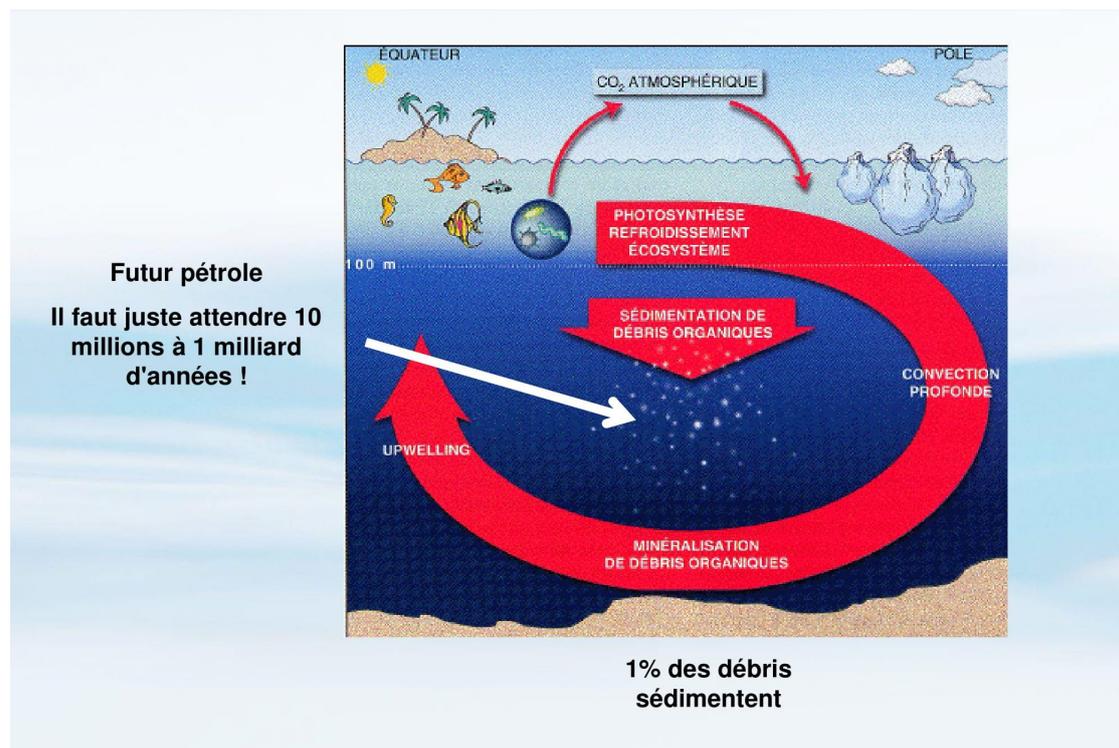
Et puis ensuite, il vous reste quelques petites bricoles.

## 10. OÙ VA « NOTRE » CHARBON ?

*Ce n'est pas grand-chose le charbon en France* – comme je le disais tout à l'heure – puisque la consommation primaire totale de la France c'est 240 millions de tonnes-équivalent-pétrole. Là, vous voyez, aujourd'hui, le charbon est à moins de 10. Donc ce n'est pas grand-chose.

Voilà rapidement les combustibles fossiles tels qu'on les consomme dans le monde et en France, et pour quels types d'usages.

## 11. L'aventure du pétrole commence à la plage ou presque



Diapositive 15.

Alors, maintenant, on va essayer de comprendre d'où ils sortent.

Le dictionnaire étant bien fait, les combustibles fossiles sont des fossiles. « Fossile », ça veut dire que c'est *un reste de vie ancienne*. Et c'est très exactement ce que sont les combustibles fossiles.

Alors, la façon dont ils sont apparus sous nos pieds est la suivante. Vous avez depuis très longtemps des océans sur Terre. Et dans ces océans, vous avez depuis très longtemps des êtres uni- ou pluricellulaires qui sont apparus et qui vivent. Dans ces êtres uni- ou pluricellulaires, vous avez notamment des algues et du plancton.

Alors ces êtres, comme nous, ne sont pas immortels, c'est-à-dire que de temps en temps, hélas pour eux, ils passent de vie à trépas. Et quand ils passent de vie à trépas, l'essentiel d'entre eux est décomposé dans la colonne d'eau, c'est-à-dire que les restes ne tombent pas sur le plancher océanique. Mais vous

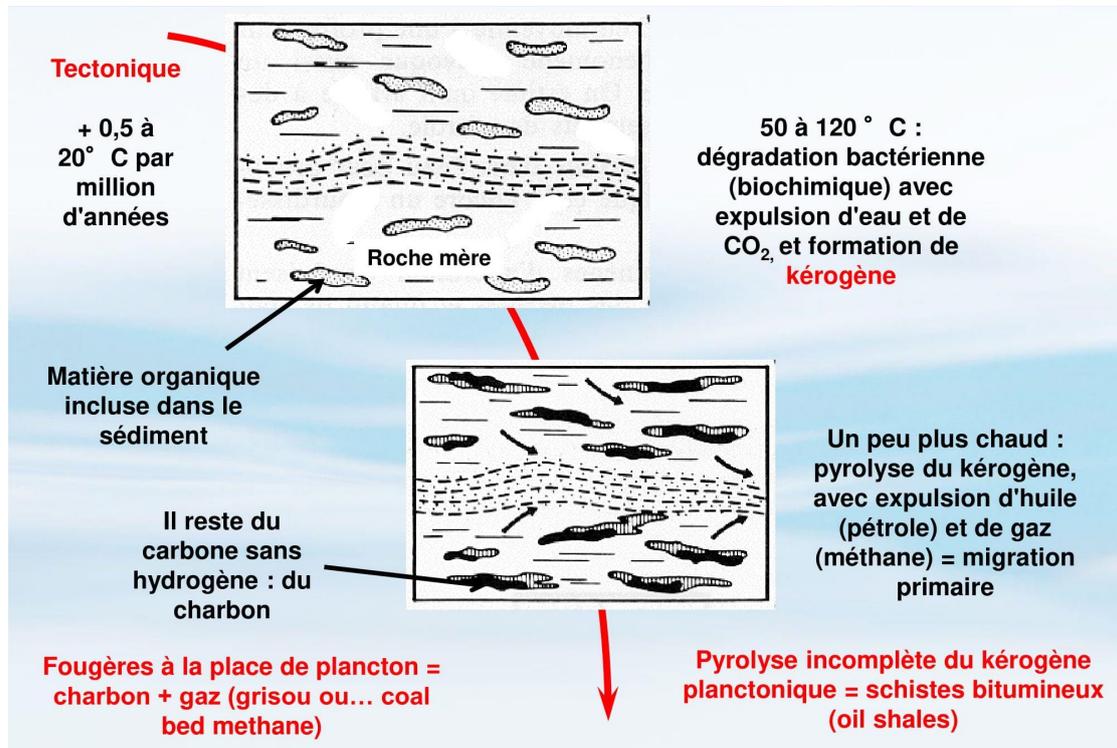
## *11. L'AVENTURE DU PÉTROLE COMMENCE À LA PLAGE OU PRESQUE*

avez quand même une petite partie de ces restes organiques qui tombe sur le plancher océanique – ce qui est sous l'eau.

En général, le processus que je vais vous décrire arrive plutôt près des côtes, là où la hauteur d'eau n'est pas très épaisse. Parce que c'est là que vous avez les éléments minéraux qui permettent à la vie d'être la plus abondante. Et du coup, ça veut dire que c'est là qu'il y a la plus grande probabilité que les restes organiques tombent sur le plancher sans s'être décomposés dans la colonne d'eau.

Quand ils tombent sur le plancher océanique, ils vont se retrouver mélangés à des sédiments minéraux, qui sont des poussières amenées par le vent, des alluvions amenés par les rivières, des restes de coquilles pour les êtres qui en ont une (parce qu'une partie du plancton synthétise des coquilles en calcaire), etc. Tout ça va se mélanger.

## 12. Le pétrole aime la cuisson à petit feu



Diapositive 16.

Et si vous êtes dans un endroit approprié, d'abord ça va se compacter sous l'effet de son propre poids – ce sédiment – et ensuite la tectonique des plaques va vous entraîner ça vers les profondeurs.

Et à partir du moment où la tectonique des plaques vous entraîne ça vers les profondeurs, elle vous rapproche du gros radiateur que vous avez au centre de la terre – qui est entretenu, soit dit en passant, par la radioactivité naturelle des roches – et ça va engendrer une succession de dégradations ou de décompositions de ce que vous avez dans le sédiment.

Alors, avec ce mouvement de sédimentation et d'entraînement vers les profondeurs, la partie minérale du sédiment va se transformer en ce qu'on appelle *une roche-mère*. C'est-à-dire que le truc va se compacter et se transformer en roche. Et la partie organique qui est dans des petites inclusions dans ce sédiment va elle-même subir un certain nombre de dégradations.

## 12. LE PÉTROLE AIME LA CUISSON À PETIT FEU

Dans un premier temps, vous avez une dégradation qui est bactérienne et ça va vous expulser de l'eau et du gaz carbonique.

Dans un deuxième temps, cette dégradation va devenir thermique, anaérobie. Et à ce moment, vous avez (comme dans une raffinerie) un fractionnement de la matière organique qui est contenue dans la roche et qui va donner (exactement comme dans une raffinerie) trois types de chaînes organiques. Vous allez avoir *du gaz*. Vous allez avoir *du liquide* – qu'on a coutume d'appeler de l'huile. Et vous allez avoir un *résidu solide* qui ressemble à du charbon et qui va rester contenu dans la roche.

Primitivement, ce truc-là s'appelle du « kérogène ». Et, une fois qu'il a fini d'être pyrolysé, à ce moment, vous avez du gaz, de l'huile, et le reste solide.

Une fois que ces composants fluides – pour le gaz et le pétrole – et solides ont été faits, il peut leur arriver deux choses :

- La première, c'est qu'ils restent là où ils sont parce que le sédiment a formé une roche qui est imperméable. A ce moment, si la roche est imperméable, la décomposition de la matière organique reste là où elle est.
- Ou bien la roche est perméable, et à ce moment, vous allez avoir à l'intérieur de la roche, sous l'effet de la pression, ce qu'on appelle une « *migration primaire* ».

C'est-à-dire que le pétrole et le gaz qui ont été formés vont diffuser à l'intérieur de la roche et vont commencer à migrer à l'intérieur de la roche en ayant envie – parce que c'est le gradient de pression qui les pousse – de remonter vers la surface.

Si jamais la pyrolyse est incomplète – c'est-à-dire que le phénomène de tectonique et de dégradation a pris place il y a trop peu de temps –, vous avez une roche riche en matière organique qui s'appelle des « schistes bitumineux » (à ne pas confondre avec les « sables bitumineux »). En anglais ça s'appelle « oil shale ». À ne pas confondre avec « shale oil ».

Pour utiliser ce produit-là, vous devez finir de le chauffer « à la main ». C'est comme ça qu'on s'en sert. Et donc vous avez des centrales électriques... Vous avez une centrale électrique qui fonctionne – je ne sais pas où dans le monde – avec un très très mauvais rendement. Parce que le produit a un pouvoir calorifique faible.

On peut s'en servir, de ces schistes bitumineux, en amenant des grandes quantités d'énergie pour finir artificiellement la transformation et donc récupérer du pétrole. Mais avec un rendement général qui est inférieur à 1.

## 12. LE PÉTROLE AIME LA CUISSON À PETIT FEU

Alors, il y a des gens qui imaginent par exemple utiliser de la vapeur nucléaire pour faire ce genre de trucs. Auquel cas : vous injectez un type d'énergie dans le sol ; vous récupérez un autre type d'énergie en sortie du sol ; et comme ce n'est pas la même qui vous intéresse, on peut imaginer qu'économiquement ça puisse valoir le coup. Ça ne va jamais énormément se développer.

Si vous avez les produits qui ont été formés jusqu'à leur terme – donc vous avez effectivement du gaz ou du pétrole qui s'est formé dans la roche mais qui est resté prisonnier –, on verra à la planche suivante que ça porte un nom extrêmement connu.

Si vous n'avez pas du plancton, mais qu'à la place vous avez des fougères – c'est ce qui s'est passé sur Terre à l'ère du charbon, au Carbonifère –, à ce moment, vous avez des veines de charbon.

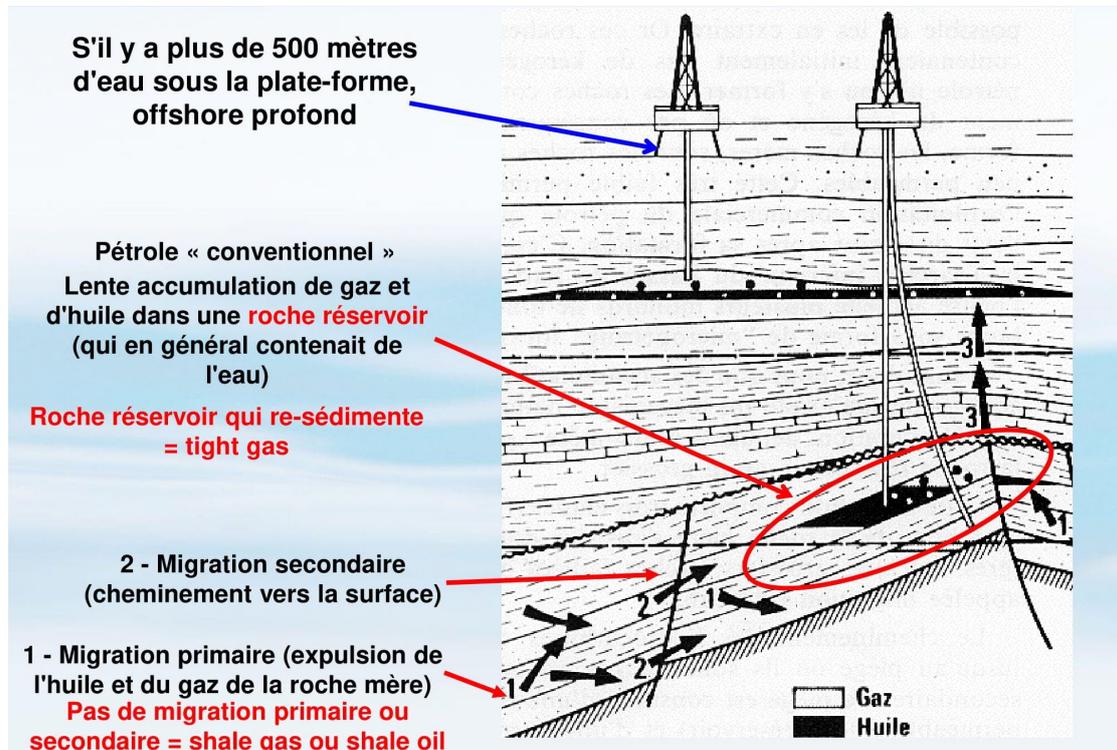
Alors retenez que, quand vous avez des fougères – et non pas du plancton – à qui il arrive ce processus, la veine de charbon, quand elle se forme, produit aussi du pétrole et produit aussi du gaz, exactement dans le même processus de décomposition et de pyrolyse créé par la chaleur de la Terre.

Alors, le pétrole, en général, s'échappe.

Par contre, une partie du méthane reste absorbée dans la veine de charbon. C'est ce qui fait que quand vous avez une exploitation charbonnière et que vous remettez la veine de charbon à la pression atmosphérique, le méthane se désorbe. Et si jamais vous ne ventilez pas les mines, vous avez des coups de grisou.

Ce processus de formation, c'est la raison pour laquelle vous avez du méthane, soit absorbé dans le charbon, soit carrément des poches de méthane, dans les veines de charbon.

### 13. Le but du jeu, c'est de piéger l'autre



Diapositive 17.

Vous avez donc la roche qui se retrouve loin sous Terre.

Alors, il a fallu des millions d'années, ou des dizaines de millions d'années, pour que tout ça se produise. On le verra après. Donc, vous avez la roche qui est sous terre, qui a emprisonné sa matière organique, qui a produit du pétrole et du gaz. Et donc ce pétrole et ce gaz vont avoir tendance, comme je le disais, à migrer de façon primaire.

Après, une fois qu'il y a eu l'expulsion des alvéoles, le pétrole et le gaz vont sortir de la roche-mère et migrer vers la surface. Donc, ça, c'est ce qu'on appelle la *migration secondaire*.

L'essentiel du temps, cette migration vers la surface est complète. C'est-à-dire que depuis les 10, 20, 30, 40, 50 ou 100 millions d'années que le pétrole a été formé, il migre « doucement » vers la surface. Arrivé en surface; c'est un produit organique : il se décompose, c'est-à-dire qu'il se fait bouffer par les bactéries : fin de l'histoire.

### 13. LE BUT DU JEU, C'EST DE PIÉGER L'AUTRE

De temps en temps, dans sa migration vers la surface, il est coincé.

C'est-à-dire que vous avez une roche perméable – parce qu'en général, sous la surface, vous n'avez pas des trous. Donc à un moment, vous avez une roche perméable qui est surmontée par une roche imperméable.

À ce moment, vous avez ce que dans le jargon des géologues pétroliers on appelle un « piège ». C'est-à-dire que le pétrole – qui est formé par la roche-mère qui est en dessous – migre « doucement », jusqu'au moment où il arrive dans la roche qui deviendra la roche réservoir. Au-dessus, il ne peut pas aller plus haut – parce que c'est une couche imperméable – et donc il va s'accumuler dans la *roche réservoir*.

En général, dans la roche réservoir, la porosité était remplie d'eau, avant. Et ça explique pourquoi, aujourd'hui, vous avez toujours, sous le pétrole – dans un réservoir de pétrole classique, conventionnel – vous avez une couche d'eau sous la couche de pétrole. Plus exactement : sous la partie imprégnée de pétrole, vous avez une partie imprégnée d'eau. Toujours.

Il se peut que le pétrole ait été piégé à *moins de 500 mètres sous terre*, auquel cas on a l'habitude d'appeler ça du « *pétrole conventionnel* ».

S'il est à plus de 500 mètres sous terre – ou plus exactement, à *plus de 500 mètres sous l'eau* – on appelle ça de l'« *offshore profond* ».

Quand le pétrole fait sa migration primaire mais pas secondaire – ou même pas sa migration primaire – il vous reste une roche-mère contenant des hydrocarbures. Ce qui a donné lieu, récemment, aux États-Unis, à une explosion de la production de pétrole.

C'est le pétrole issu de ces roches-mères – dont le pétrole ne s'était pas échappé – et qu'en anglais on appelle du « *shale oil* ». Pas « *oil shale* » : ce sont les schistes bitumineux. « *Shale oil* » : dans l'autre sens donc. Et ce que, en français, on traduit mal par « *pétrole de schiste* ». En l'occurrence, on le traduit mal parce que ce n'est pas toujours un schiste qui est la roche-mère. Mais peu importe. Les Français aiment bien faire des traductions approximatives des termes anglais. Donc, c'est du pétrole de roche-mère.

Vous avez en fait deux types d'exploitation de pétrole de roche-mère. Vous avez le pétrole qui est vraiment dans la roche-mère – où le pétrole a migré dans des petites inclusions poreuses qui sont dans la roche-mère – et à ce moment, ça ne s'appelle pas du « *shale oil* » : ça s'appelle du « *tight oil* ».

Alors, dans les deux cas de figure, comme le pétrole ne circule pas dans la roche – c'est la raison pour laquelle il n'est pas allé se promener ailleurs – il

### 13. LE BUT DU JEU, C'EST DE PIÉGER L'AUTRE

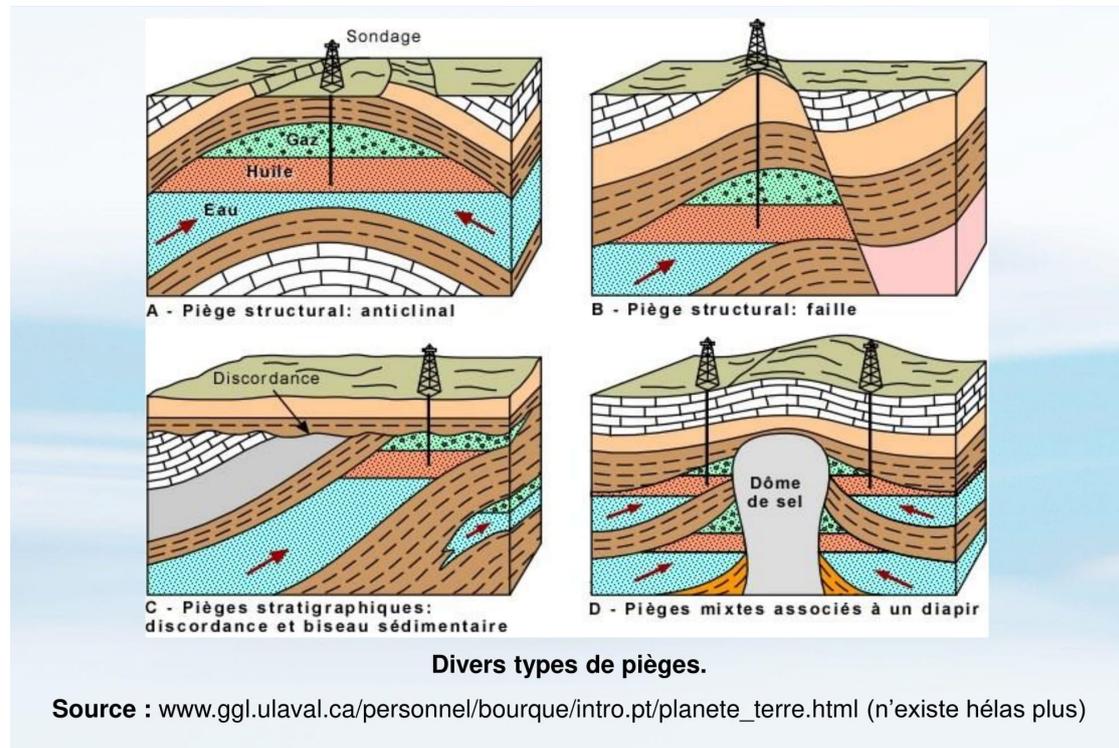
faut créer artificiellement la circulation dans la roche pour pouvoir faire sortir le pétrole. Et c'est l'objet de la *fracturation*.

Donc la fracturation conduit à créer dans la roche-mère un réseau de fissures qui permet au pétrole – qui ne circule pas – de se mettre à circuler. Mais évidemment, l'énergie de fracturation est une énergie significative. Ce qui fait que le rendement énergétique de l'extraction du pétrole de roche-mère est plus mauvais que le rendement d'extraction du pétrole dit « conventionnel ».

Donc, voilà en gros la façon dont se présente la formation du pétrole et du gaz.

C'est la même chose pour le gaz. Donc, le gaz qui reste prisonnier dans la roche-mère – ou dans des inclusions dans la roche-mère, ou dans des réservoirs qui ont re-sédimenté – s'appelle « shale gas » ou « tight gas ». De la même manière.

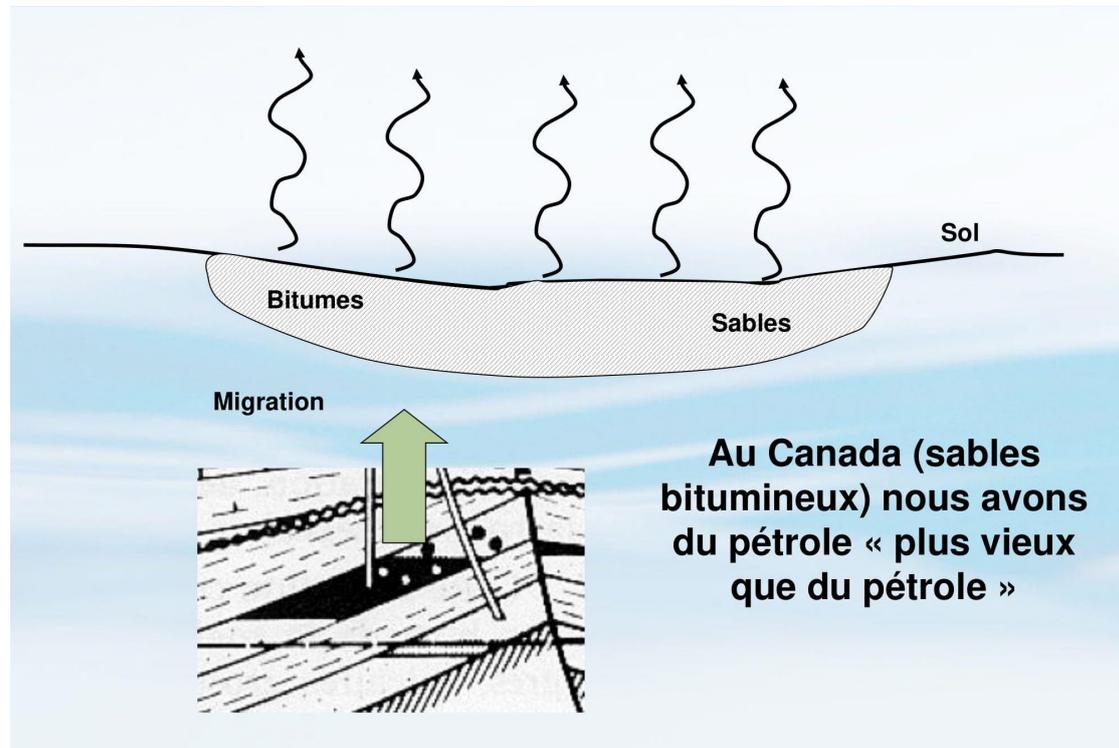
## 14. On peut être piégé de plusieurs manières



Diapositive 18.

Alors, voilà quelques exemples de réservoirs. Ce qui veut dire, soit dit en passant, que quand les géologues cherchent du pétrole, ils ne cherchent pas au hasard. Ils savent qu'ils doivent chercher dans des bassins sédimentaires. Ils savent que, s'il y a du sel qui se balade quelque part, peut-être que ça sent bon pour eux, etc.

## 15. Le lendemain de cui...sson est parfois pâteux



Diapositive 19.

Il arrive parfois que la fin de route du pétrole qui a été formé en sous-sol soit du sable qui est situé en surface. Donc, à ce moment, le pétrole va faire comme si c'était une roche poreuse sous terre : il va s'accumuler dans le sable. Mais comme le sable communique avec la surface, à ce moment, le pétrole va perdre ses éléments les plus volatils. Et vous vous retrouvez avec ce qu'on appelle des « sables bitumineux ».

C'est exactement ce que vous avez au Canada, dans la province de l'Athabasca [*sic* : Alberta]. Et à ce moment, ça s'exploite comme des mines à ciel ouvert. C'est à peu près aussi sympathique que les exploitations de mines à ciel ouvert de lignite.

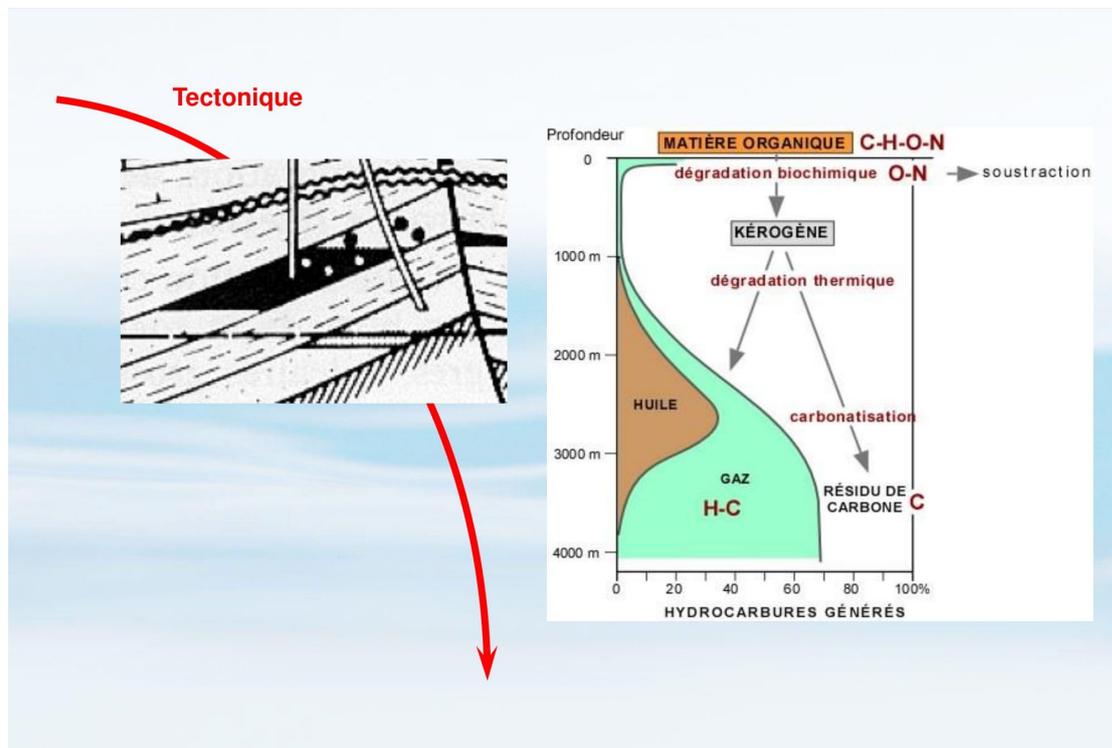
Vous faites un grand machin qui fait 5 km sur 10 km. Vous décapez tout ce qui est au-dessus. Je peux vous dire qu'il ne reste pas un lapin, pas un arbre. Et avec des énormes excavatrices, vous allez récupérer ce truc-là. Comme dans une exploitation de mine à ciel ouvert.

## *15. LE LENDEMAIN DE CUI...SSON EST PARFOIS PÂTEUX*

Et vous emmenez ça dans des « upgraders », c'est-à-dire des raffineries d'un genre particulier, qui vous transforment ce mélange de bitume et de sable en quelque chose de sympathique qui va entrer dans votre voiture.

Avec, là aussi, un rendement énergétique qui est beaucoup plus mauvais que celui que vous avez dans une chaîne pétrolière traditionnelle. Parce que, en gros, vous avez perdu les éléments les plus intéressants, les éléments les plus volatils. Et donc vous avez un pétrole de moins bonne qualité.

## 16. L'aventure recommence



Diapositive 20.

Quand vous avez un réservoir conventionnel de pétrole et de gaz, l'histoire ne s'arrête pas nécessairement là.

Comme il a été formé dans une région où il y a de la subduction, l'histoire peut recommencer. Et donc votre réservoir de pétrole et de gaz peut lui-même être entraîné vers les profondeurs.

À ce moment, il y a une nouvelle distillation qui arrive. Ce qui fait que quand on cherche du pétrole et du gaz, il y a ce qu'on appelle une « fenêtre à huile », c'est-à-dire une profondeur où on se dit : « Là, si on trouve quelque chose, il va peut-être y avoir du pétrole. » Et il y a une profondeur en dessous de laquelle, si on trouve quelque chose, c'est nécessairement essentiellement du gaz, parce que c'est un ancien réservoir de pétrole qui a été ré-entraîné vers les profondeurs où la chaleur a fractionné le pétrole en molécules plus courtes.

Historiquement, soit dit en passant, quand les pétroliers trouvaient du gaz, il y a cinquante ans, c'était une absolue calamité pour eux. Parce que le pétrole,

## 16. L'AVENTURE RECOMMENCE

c'est facile à évacuer d'un puits, où que vous soyez : vous le mettez dans une cuve sur roue – ça s'appelle un camion – et vous l'embarquez.

En ce qui concerne le gaz, vous ne mettez pas le gaz dans un camion. Parce que le gaz est 1000 fois moins dense que le pétrole à température et pression ordinaires. Donc il faut vraiment avoir un tuyau pour être capable de l'évacuer.

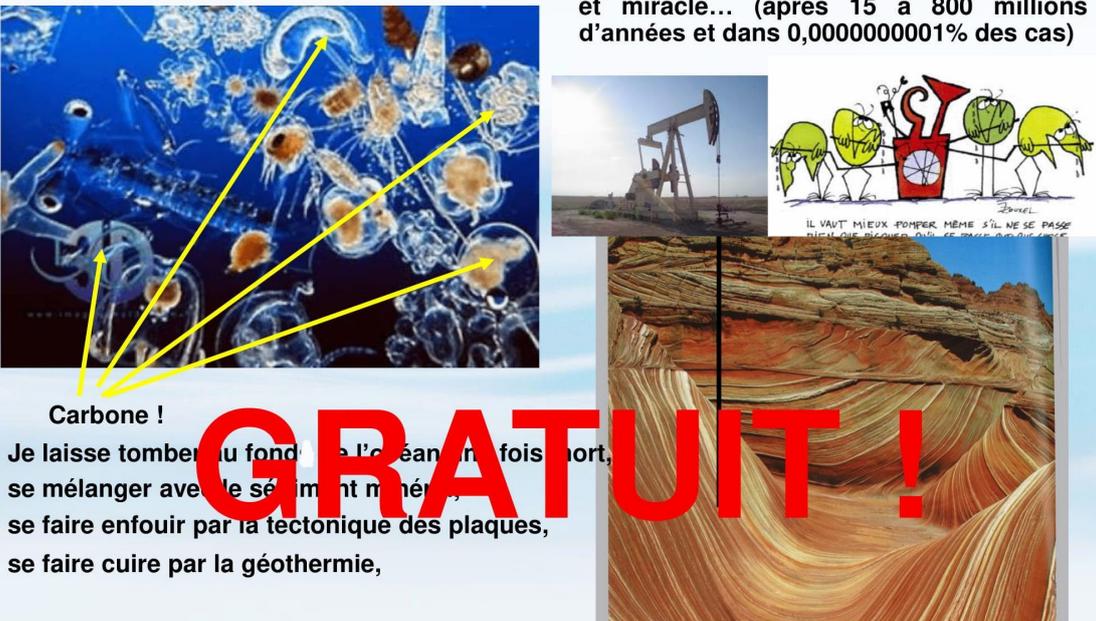
Si vous allez faire un trou au milieu de l'Iran et que vous trouvez du gaz, il n'y a pas de tuyaux, et donc vous vous demandez ce que vous en faites. Et si vous allez faire un trou au milieu du Golfe de Guinée et que vous trouvez du gaz, vous vous demandez ce que vous en faites. Parce qu'il n'y a pas de tuyaux pour évacuer le gaz.

C'est la raison pour laquelle dans les exploitations modernes de gaz offshore, aujourd'hui, on fait non seulement le puits, mais la plateforme de liquéfaction. Parce que si on avait juste du gaz, on ne saurait pas quoi en faire : il n'y a pas de tuyaux pour l'évacuer.

C'est aussi la raison pour laquelle, historiquement, les pétroliers laissaient fuir le gaz dans l'atmosphère quand ils trouvaient un gisement combiné de pétrole et de gaz. Toujours pour la même raison : parce qu'ils ne savaient pas quoi faire du gaz s'ils étaient loin de toute infrastructure. Et donc ils le laissaient partir dans l'atmosphère.

Alors, depuis qu'on leur a dit « le méthane a un pouvoir de réchauffement beaucoup plus élevé que le CO<sub>2</sub> », a minima, ils le brûlent.

## 17. Merci, mère nature!



et miracle... (après 15 à 800 millions d'années et dans 0,000000001% des cas)

IL VAUT MIEUX POMPER MÊME S'IL NE SE PASSE RIEN QUE RIQUER D'UN SEULE BOUCHE

**GRATUIT!**

Carbone !  
Je laisse tomber au fond de l'océan, parfois mort,  
se mélanger avec le sédiment marin,  
se faire enfouir par la tectonique des plaques,  
se faire cuire par la géothermie,

Diapositive 21.

Voilà du pétrole à son origine. C'est plein de carbone.

Voilà l'histoire par laquelle ça passe.

Et voilà à quoi on arrive après quelques millions à centaines de millions d'années d'évolution. Si vous faites le Shadok au bon endroit, vous ferez sortir du pétrole.

Je vous l'avais dit la dernière fois, je le répète : *ce processus de formation du pétrole est aussi gratuit que le processus d'apparition du vent.*

Je ré-insiste : *toutes les énergies sont gratuites.*

Vous n'avez pas payé le plancton qui a vécu dans l'océan il y a 300 millions d'années. Et vous n'avez pas payé la géothermie qui vous a distillé le kérogène. Et vous n'avez pas payé la tectonique des plaques qui vous a enfoui ça sous terre.

Le pétrole est gratuit. Exactement comme le vent, le charbon, le gaz, etc. C'est gratuit et c'est vieux.

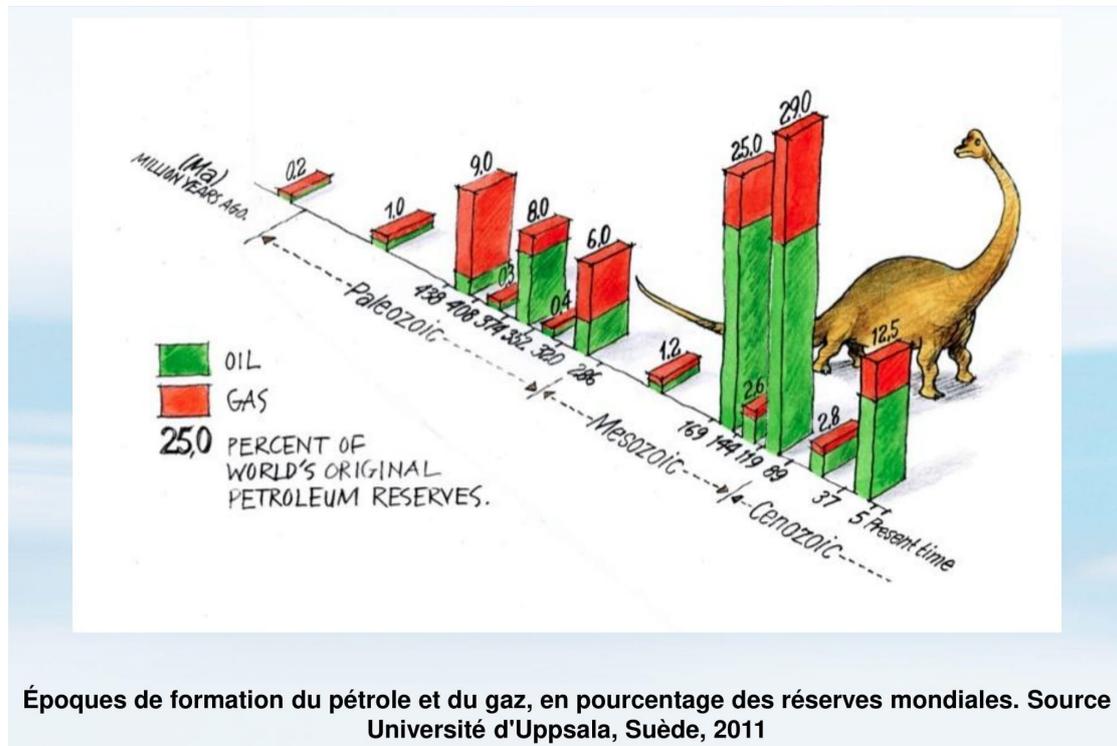
## 17. MERCI, MÈRE NATURE!

\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« Pourquoi est ce que vous précisez dans 0,000 000 000 1% des cas? »

Je vais y venir après. C'est parce qu'en fait vous n'avez qu'une toute petite partie de la matière organique qui a vécu sur Terre qui se retrouve aujourd'hui sous forme de résidus pétroliers, gaziers ou charbonniers. Le reste s'est décomposé naturellement, ou bien s'est transformé en pétrole et gaz et ça a migré jusqu'à la surface et ça s'est décomposé après. Donc, en gros, si vous prenez la totalité du carbone qui a été à un moment contenu dans les êtres vivants, et que vous rapportez ça à ce qui est contenu dans les réservoirs fossiles, c'est une toute petite partie. Donc c'est un processus d'accumulation qui porte sur un tout petit exutoire de la chaîne.

## 18. Pétrole et gaz, des énergies de dinosaure!



Diapositive 22.

Ici vous avez une représentation de la fraction des réserves de pétrole et de gaz en fonction de leur ancienneté. C'est une autre manière de dire que c'est le temps qu'il faut attendre pour que se reconstituent les réserves. C'est une autre manière de présenter exactement la même information.

Donc ce que vous voyez, c'est qu'une petite partie du pétrole est « raisonnablement » jeune – encore que le « raisonnablement » dans cette affaire... Mais vous pouvez avoir une fraction significative du pétrole sur Terre qui a plusieurs centaines de millions d'années.

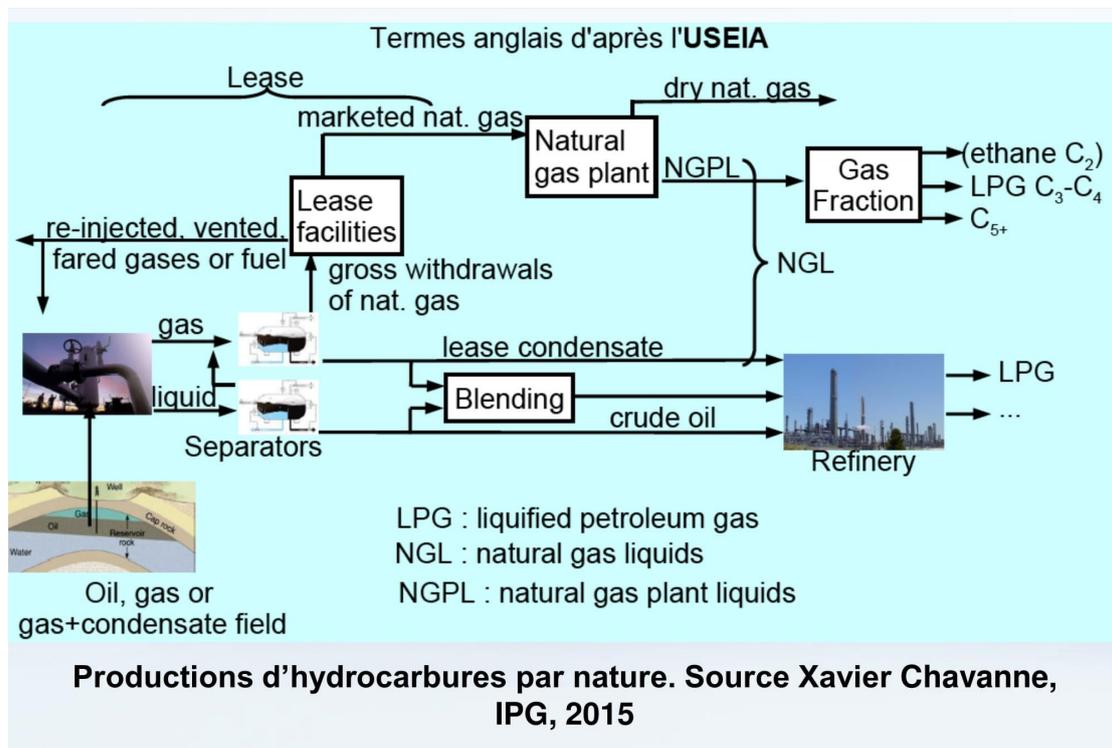
Donc le pétrole, c'est quelque chose qui est renouvelable si vous pouvez attendre quelques centaines ou quelques dizaines de millions d'années. Mais si vous êtes un peu plus impatient, ce n'est pas très renouvelable.

Soit dit en passant, j'en profite également pour faire une remarque qui a son importance dans le débat qui s'ouvre en France sur la question du confinement des déchets nucléaires. Quand vous avez un gisement de pétrole qui date de

## *18. PÉTROLE ET GAZ, DES ÉNERGIES DE DINOSAURE!*

quelques dizaines de millions d'années, ce qu'on a dit implicitement, c'est que pendant quelques dizaines de millions d'années vous avez un produit qui est chaud et liquide qui est resté confiné au même endroit. On dit que le réservoir a tenu pendant quelques dizaines de millions d'années, sur un truc qui est chaud et liquide. Donc le confinement géologique, si vous vous y prenez bien, c'est quelque chose qui tient très, très longtemps sans problème. Ce n'est pas toujours le cas, mais si on s'y prend bien, ça tient très longtemps.

## 19. Parlons un peu nomenclature



Diapositive 23.

Alors maintenant, je vais un peu vous faire mal à la tête en vous disant un truc qui n'est peut-être pas totalement intuitif, mais qui a son importance quand on regarde les chiffres.

Vous savez qu'on ne peut pas manipuler des statistiques sans *nomenclature*. Tant que je ne vous ai pas dit : « Voilà ce qu'est une chaussure », je ne peux pas compter les chaussures.

En ce qui concerne le pétrole, vous pouvez vous dire : « Le pétrole c'est très simple : il y a du pétrole et on compte le pétrole. » Mais en fait ce n'est pas simple du tout. Parce que dans le pétrole, vous mettez des produits qui ne viennent pas du même endroit, qui ne s'appellent pas de la même façon, et qui ne servent pas à la même chose.

Historiquement, ce qu'il y avait dans le pétrole, c'était ce qui sortait des gisements de pétrole, sans traitement (on va dire). Donc, au moment où monsieur Drake commence à donner des coups de pioche à Titusville, il y a des puits éruptifs : il sort un machin liquide, il colle ça dans des barils.

## 19. PARLONS UN PEU NOMENCLATURE

Raison, soit dit en passant, pour laquelle on compte le pétrole en barils : c'est parce qu'au début de l'exploitation du pétrole, les récipients qu'on avait sous la main aux États-Unis, c'était des barils – qui avaient servi à contenir des harengs, qui ne sentent pas tellement meilleur que le pétrole, mais pas pire non plus. Donc on s'est dit : « On va mettre le pétrole là-dedans, c'est le truc qu'on a sous la main, et donc on va compter le pétrole en barils. » C'est la raison historique pour laquelle on a ce système métrique très particulier dans le pétrole. Donc c'était un truc liquide. On voyait à peu près ce que c'était.

Et puis avec le temps, on s'est rendu compte que d'un gisement de pétrole, on pouvait faire sortir d'autres choses. Il y a du gaz qui est dissous dans le pétrole. Alors, le méthane on ne le met pas avec le pétrole. Mais il y a des gens qui comptent, avec le pétrole, du gaz qui sort du gisement de pétrole qui s'appelle de l'éthane ( $C_2H_6$ ) – pas tellement du pétrole – et du propane et du butane. Ce sont des hydrocarbures saturés  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ . Aujourd'hui, vous avez des statistiques dans lesquelles ils sont comptés avec le pétrole.

Alors, ça porte un nom particulier  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  : ça s'appelle des « *liquides de gaz* » ou « *natural gas liquids* ». Pourquoi ça s'appelle des liquides de gaz alors que l'éthane n'est pas liquide à température et pression ambiantes ? Parce que dans les usines de séparation des produits gazeux entre eux, on comprime, on refroidit et on fait de la distillation cryogénique (en gros). C'est-à-dire que le méthane est le dernier truc qui reste gazeux. C'est comme ça qu'on l'évacue. Et on fractionne. Et tous les autres deviennent liquides et on les évacue comme ça également.

Alors les liquides de gaz, vous pouvez en avoir dans le pétrole – ce sont des molécules dissoutes dans le pétrole qui ne sont pas du méthane –, mais vous en avez également plein dans le gaz. Tous les réservoirs de gaz qui ont été formés par des réservoirs de pétrole, qui se sont enfouis sous terre et où le pétrole s'est fractionné sont, en général, des réservoirs de gaz qu'on appelle « *humides* ». C'est-à-dire que vous avez du méthane dedans, mais vous avez aussi du butane, du propane et de l'éthane. Donc, ces produits qu'on extrait avec le gaz sont comptés avec le pétrole.

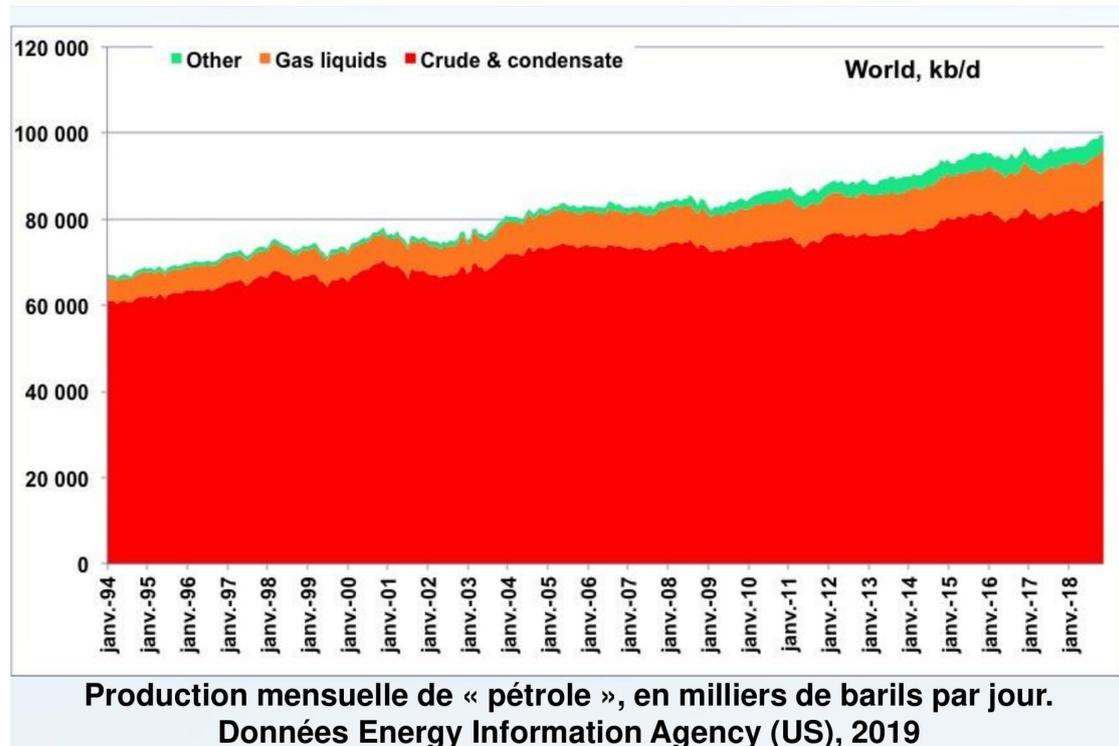
Alors, vous allez me dire : « Est-ce que ça vaut la peine de passer deux minutes sur le sujet ? » Quand vous verrez le graphe suivant, vous verrez que oui.

Après, vous avez également, sortant avec le gaz, des produits qu'on appelle des *condensats*. Ce sont des chaînes carbonées qui vont en gros de  $C_5$  à  $C_8$ . C'est un peu plus léger que les produits distillés standards que vous sortez de raffinerie et qui viennent également avec le gaz.

## *19. PARLONS UN PEU NOMENCLATURE*

Alors, ceux-là, en général, on les compte avec le pétrole brut. C'est très compliqué de trouver des statistiques dans lesquelles ils sont discriminés du pétrole brut.

## 20. Production de quoi exactement ?



Diapositive 24.

Alors, voilà les statistiques de l'agence américaine qui s'appelle « Energy Information Agency » [*sic* : Energy Information Administration]. Elle vous donne la production mondiale de pétrole en discriminant brut et condensats (donc le pétrole qui sort sous forme liquide et les condensats), puis les liquides de gaz (donc C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>), puis les biocarburants.

Mais quand vous regardez les statistiques de « BP Statistical Review » – que j'utilise aussi assez souvent –, eux ils agrègent les trois et vous appellent ça « pétrole ». Donc, vous pouvez augmenter la production de pétrole avec du pétrole brut qui diminue, des liquides de gaz qui augmentent, et des biocarburants qui augmentent. Chez BP, ça s'appelle toujours « augmentation du pétrole ».

Ça se discute un peu. Parce que si on veut avoir une attribution des causes claire et bien comprendre ce qui est en train de se passer, ça se discute. Et, tout à fait à la fin de cet exposé, je vous montrerai également une discrimination – qui ne va que jusqu'en 2013 malheureusement – entre le brut et les condensats. Et vous verrez que ça donne encore une image différente.

## 20. PRODUCTION DE QUOI EXACTEMENT ?

Ce que vous arrivez à voir facilement sur ce graphique, c'est que si vous regardez le pétrole brut, il y a une longue période qui a démarré en 2005 – ça doit vous rappeler un petit quelque chose avec la crise de 2008 – où ça n'augmente quasiment plus. Et l'augmentation des années récentes, en fait, elle est moins rapide que l'augmentation que vous avez eue sur la même période des liquides de gaz.

Donc, en fait, une partie de l'augmentation de la production dite de « pétrole » – quand vous utilisez les statistiques de BP ou de l'Agence Internationale de l'Énergie (ils utilisent en général la même nomenclature) – vient de là. Ils mettent dans « production de pétrole » les liquides de gaz. Donc, si vous avez une production de pétrole brut qui baisse et une production de gaz qui augmente, vous pouvez très bien vous retrouver, à l'arrivée, avec la production de pétrole qui augmente.

\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« Est ce que les liquides de gaz sont des résidus indésirables ? »

Non. Ce sont des produits qui ont une valeur en tant que tel. L'éthane sert de base pour la pétrochimie, de même que le propane. Le butane sert directement si vous allez faire du camping.

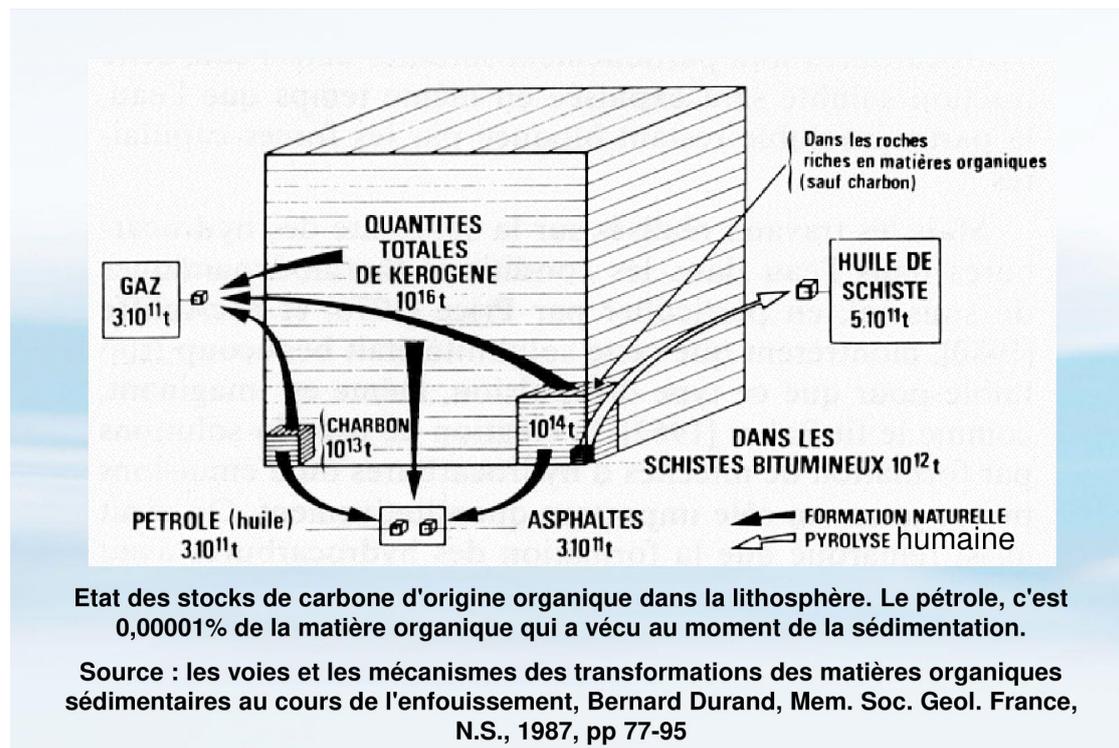
\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« Est ce qu'on cherche à les séparer ? »

On cherche à les séparer du méthane – dans le gaz absolument –, parce ce que vous avez des spécifications dans les appareils qui utilisent le gaz. Par exemple, votre cuisinière – si vous avez une cuisinière à gaz –, elle n'est pas configurée pour brûler un gaz dans lequel vous avez une teneur variable de butane, de propane et d'éthane. Vous avez une spécification : ça doit être du méthane pur à 99 virgule je ne sais pas combien de neuf derrière. Et donc c'est pour ça qu'on épure les produits.

Par ailleurs, on les épure aussi parce qu'ils ont des utilisations particulières en chimie organique. Et donc ça a de la valeur à cause de ça.

## 21. Du plancton à l'huile, une sélection plus sévère qu'à ENSMP



Diapositive 25.

Là, on revient à la question qui a été posée tout à l'heure.

Vous avez ici quelques ordres de grandeur pour comparer la matière organique de ce qui est totalement séquestré sous le sol, c'est-à-dire le kérogène, et des masses respectives de pétrole, de charbon, etc.

Donc, vous voyez encore une fois : à chaque fois, vous avez des processus de transformation qui ont des tous petits rendements. Vous n'avez qu'une petite partie de ce qui prend place à une étape donnée qui se retrouve à l'étape d'après.

Donc c'est juste pour dire que *les rendements*, dans cette affaire, *sont très faibles*.

## 22. Le pétrole sous terre : réserve or not réserve ?

**Un « réservoir » de pétrole et/ou de gaz met  $\approx$  50 à 500 millions d'années à se former**

**Il s'agit d'une formation sédimentaire (calcaire, grès, sable...) plus ou moins poreuse, inégalement imprégnée par au plus 3 « étages » : gaz (qui contient des condensats), huile (qui contient du gaz dissous), eau.**

**La proportion d'huile dans la roche (en poids) est typiquement de quelques % à quelques dizaines de %**

**Le pétrole contenu dans la roche s'appelle du pétrole « en place ». Tout ne sortira pas.**

**En première approximation, plus le réservoir est situé profond sous terre et plus la fraction de gaz est élevée**

**Un pétrole « plus vieux que le pétrole », c'est du bitume**

**Les « schistes bitumineux » contiennent quelques % en volume de pétrole « plus jeune que le pétrole ». A ne pas confondre avec le « pétrole de schiste », qui désigne du pétrole mature disséminé dans une roche mère, ou logé dans des inclusions**

Diapositive 26.

Donc, à ce stade, quelques éléments de nomenclature.

Le pétrole et le gaz se trouvent sous terre dans des réservoirs. L'essentiel du temps, ce réservoir est une roche-réservoir. Il arrive que ça soit la roche-mère elle-même. Quand c'est une roche-mère, elle est par essence sédimentaire (parce qu'elle s'est formée par sédimentation). Quand c'est une roche-réservoir, c'est également une roche sédimentaire – parce que ça se forme dans les mêmes bassins (donc vous avez du calcaire, du grès, du sable, etc.) – qui est poreuse, et le pétrole imprègne les pores en question.

Et vous avez, au plus, trois étages : de l'eau, du pétrole et du gaz. Vous pouvez avoir deux étages seulement : du pétrole et de l'eau ; ou : du gaz et de l'eau. Quand vous avez du pétrole et de l'eau, vous avez toujours un peu de gaz qui est dissous dans le pétrole. Ce qui veut dire que dans l'exploitation du pétrole, vous devrez toujours séparer – en arrivant à pression atmosphérique – du gaz dissous et du pétrole.

## 22. LE PÉTROLE SOUS TERRE : RÉSERVE OR NOT RÉSERVE ?

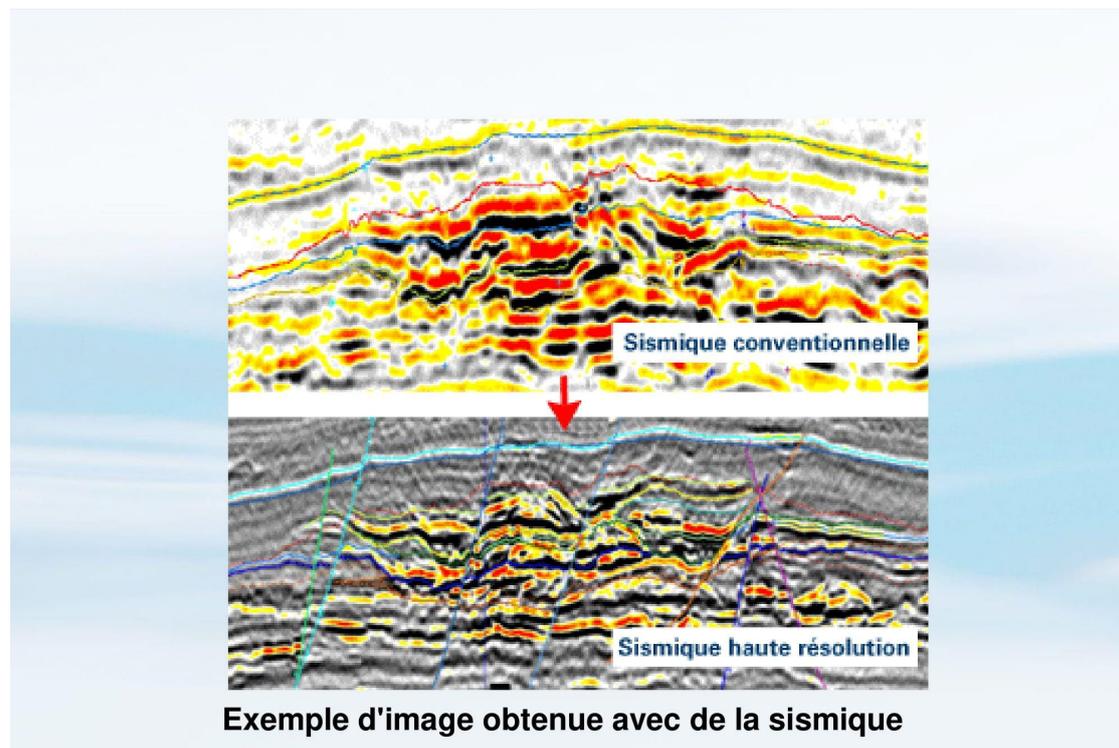
La proportion d'huile dans la roche, c'est quelques pourcents à quelques dizaines de pourcents. Mais on va dire que le cas typique, c'est une dizaine de pourcents.

Le pétrole qui est contenu dans la roche s'appelle du « pétrole en place ». À cause de la capillarité – c'est-à-dire que le truc est visqueux et les pores tout petits –, vous ne ferez jamais sortir la totalité du pétrole en place d'une roche-réservoir. De même que vous ne ferez jamais sortir la totalité du pétrole en place dans une roche-mère.

Donc, dans le monde des pétroliers, vous avez un élément de discussion qui est le *taux de récupération* que vous avez dans un réservoir. Bien évidemment, quand vous faites une découverte, vous allez essayer d'estimer ce taux de récupération parce que ça conditionne la rentabilité économique du gisement. Une fois que vous avez mis les infrastructures en place, plus il sort de pétrole et mieux vous vous portez. Économiquement. Pour le reste, ça se discute.

Donc, je dis également que : plus c'est profond, et plus la partie de gaz est élevée ; que si c'est du pétrole qui s'est dégradé en surface, c'est du bitume ; et que si c'est plus jeune que du pétrole, vous avez des schistes bitumineux ou du pétrole de roche-mère.

## 23. Plus dur que le sexe d'un bébé : combien de pétrole?



Diapositive 27.

Quand vous trouvez un réservoir de pétrole conventionnel, vous trouvez quelque chose qui ressemble à ça. Dit autrement : vous n'êtes pas sous terre comme dans Jules Verne. Vous n'avez pas un microscope ou une paire de jumelles qui vous met directement le réservoir sous le nez.

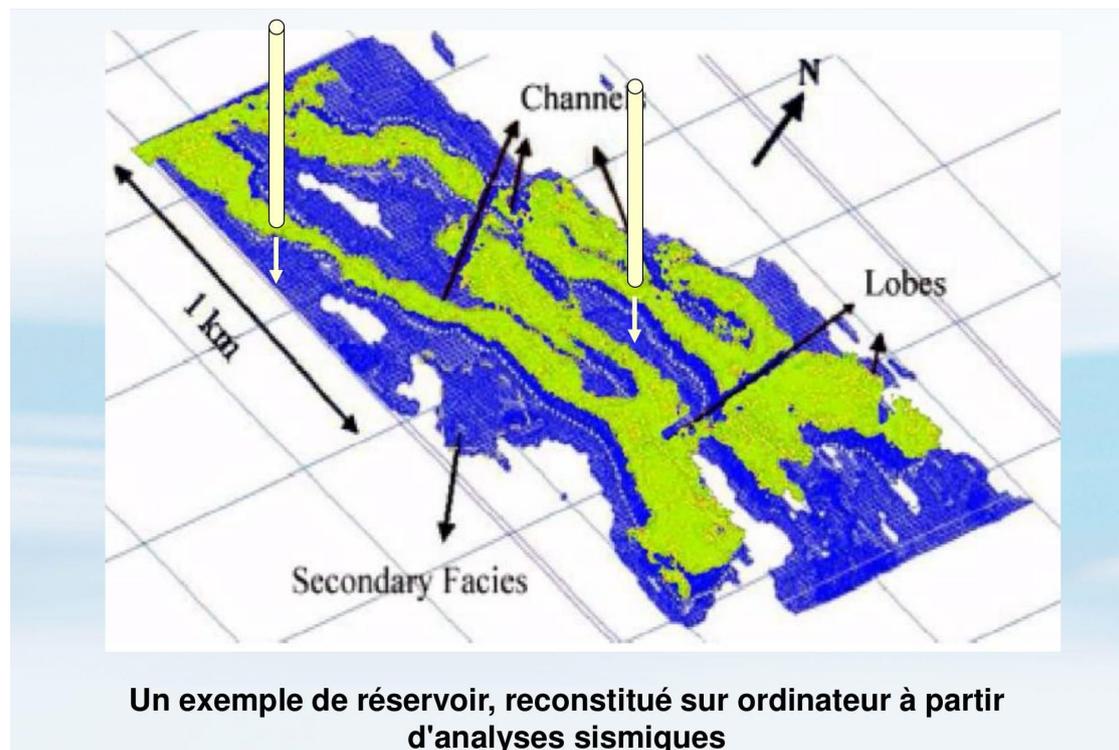
Vous avez des moyens d'exploration en surface. Et pour ceux d'entre vous qui ont déjà connu et pour ceux d'entre vous qui connaîtront : la première fois que vous irez vous faire échographier le ventre, mesdames, ou le ventre de votre compagne, messieurs, je vous assure que le médecin vous dira : « Là on voit très bien ça. » Vous regarderez en vous disant : « Ah bon, vous êtes sûr ? » Donc, c'est une image qui parle aux spécialistes. C'est évident que ce n'est pas une image qui parle à chacun d'entre nous.

### *23. PLUS DUR QUE LE SEXE D'UN BÉBÉ : COMBIEN DE PÉTROLE ?*

Donc, quand on essaie de comprendre combien il y a de pétrole sous terre, un de mes amis géologue-pétrolier dit : « En gros, vous faites le tour d'un hangar, vous regardez par le trou de la serrure et vous essayez de comprendre ce qu'il y a dans le hangar. » C'est à peu près ça l'idée qu'il faut garder.

Alors, maintenant, on sait faire un peu plus que ce qu'on faisait avant. Mais enfin quand même, ça ne vous dit toujours pas exactement ce qu'il y a dedans.

## 24. Un réservoir de géologue n'est pas celui d'une auto...



Diapositive 28.

Et donc, pour savoir, on va faire des trous. Donc, une fois qu'on a trouvé quelque chose dont on pense que ça contient du pétrole, eh bien on fait un trou.

Alors le trou s'appelle un « forage d'exploration ». Vous allez éventuellement en faire plusieurs. Vous voyez que si vous y prenez mal, vous pouvez très bien tomber juste à côté du truc intéressant et vous tromper sur ce que la roche contient.

Donc, vous faites un trou; vous remontez une carotte; et vous regardez ce qu'il y a dedans.

## 25. Les joies de la nomenclature...

Le pétrole en place dans la roche réservoir ou la roche mère, qu'il soit extractible ou non, s'appelle une **ressource**. Cette quantité n'est jamais connue avec précision au moment de l'exploration (ni même après souvent), car elle va dépendre :

Du volume de la roche poreuse (qui a rarement une forme simple)

De sa porosité (qui varie d'un point à l'autre du réservoir)

De la distribution de l'huile (qui peut très fortement varier au mètre près, et dépendre de la fraction expulsée pour les roches mères)

De la viscosité de l'huile (qui peut aussi varier)

La **ressource** peut être déjà découverte ou non. Une découverte ne « crée » pas de pétrole, elle permet simplement de savoir où il se trouve !

Une fois découvert, le gisement peut être : en cours d'exploitation, en développement (les investissements sont en cours), ou rien de tout cela.

Il n'est pas toujours simple de savoir si de multiples forages « positifs » dans une même zone appartiennent à un même réservoir qui communique de bout en bout, ou à plusieurs réservoirs, géologiquement séparés.

Diapositive 29.

Alors, le pétrole en place, une fois que vous l'avez à peu près qualifié et quantifié, s'appelle une « *ressource* ».

Jamais vous ne le connaîtrez avec précision. Donc, à chaque fois que vous voyez passer dans la presse : « Il y aurait tant de pétrole dans les sous-sols de tel pays, ça relève d'indications de cette nature (parcellaires, extrapolées, etc.). Ce sont des gens qui ont fait des calculs de coin de table en disant : « Imaginons que ce qu'on a déjà trouvé soit représentatif. Imaginons que ceci. Imaginons que cela. » Mais ça relève toujours d'un raisonnement de type « modélisation ». Ça peut être une modélisation rustique, mais c'est toujours un raisonnement de type modélisation. Jamais vous n'aurez une balance pour aller peser très exactement le pétrole qu'il y a dans le sous-sol d'un pays.

Donc, ce qui est en place s'appelle une ressource. Et ça dépend évidemment d'un certain nombre de paramètres – que je vous liste là et que vous ne connaîtrez jamais « ex ante », avec perfection.

## *25. LES JOIES DE LA NOMENCLATURE...*

Je rappelle qu'une découverte ne crée pas du pétrole : ça permet juste de savoir où il est. C'est pareil pour le gaz et c'est pareil pour le charbon.

Et une fois qu'on a découvert, vous avez trois phases possibles. Ou bien c'est découvert et ça reste découvert. Ou bien c'est ce qu'on appelle « en développement », c'est-à-dire que vous êtes en train de créer une exploitation. Ou bien c'est en exploitation.

## 26. Les joies de la nomenclature (bis)

Pour un gisement - ou réservoir - donné, la **réserve prouvée** correspond à la quantité d'huile qui est **extractible avec certitude** ( $P > 90\%$ ), **aux conditions techniques et économiques du moment**.

Toutes choses égales par ailleurs :

Elle varie avec la réévaluation du réservoir

Elle augmente avec les progrès techniques

Elle varie avec le prix, mais peu sur un réservoir donné (limite énergétique)

Elle diminue avec le temps quand tous les autres paramètres sont stables

Les **réserves ultimes** correspondent à l'ensemble de ce qui peut sortir d'un gisement donné, du début à la fin de son exploitation (idem monde)

Par définition, les réserves ultimes correspondent donc à l'intégrale de la courbe de production entre  $-\infty$  et  $+\infty$ , et **ne varient pas au cours du temps**

Les réserves ultimes **restantes** constituent la totalité du pétrole extractible restant. Les réserves prouvées en sont un sous-ensemble.

Les réserves ultimes d'un réservoir ne sont connues avec certitude **qu'une fois l'exploitation terminée**. Si les réserves ultimes sont invariantes avec le temps, l'appréciation de ces réserves peut elle varier avec le temps.

Diapositive 30.

Une fois que vous avez un réservoir où vous avez trouvé du pétrole que vous avez commencé à exploiter – et en général on demande que l'exploitation ait commencé pour parler de « réserves » –, on va parler de « *réserves prouvées* » pour désigner le volume sur lequel vous pariez votre propre argent (je vais le dire comme ça) sur le fait que ça va sortir.

Donc, la réserve prouvée c'est : je prends l'ingénieur-réservoir, je le regarde droit dans les yeux et lui dis : « La totalité de ton plan épargne retraite, on va parier. Et tu vas me dire combien de pétrole il sort de ce gisement. Et tu dois y laisser ton plan épargne retraite s'il sort moins que ça. »

Donc c'est, en gros, le truc le plus conservateur que vous puissiez dire sur combien de pétrole va sortir de votre gisement. Dit encore autrement, c'est une estimation que vous faites en mettant tous les paramètres dimensionnants à la valeur la plus défavorable. Donc c'est là où vous allez être le plus conservateur sur la taille, la porosité, la viscosité, le taux de récupération, le coût, etc. Ça c'est la réserve prouvée.

## 26. LES JOIES DE LA NOMENCLATURE (BIS)

Bien évidemment, si vous vous rendez compte que vous avez sous-estimé la taille du réservoir, elle augmente. Par contre, si vous vous rendez compte que vous l'avez surestimée, elle diminue.

Quand vous augmentez le taux de récupération à cause de la technique, vous pouvez augmenter la réserve prouvée (toutes choses égales par ailleurs).

Elle peut augmenter avec le prix – mais en fait assez peu, parce que la quantité de pétrole qui va sortir d'un réservoir dépend avant tout de l'infrastructure de production que vous allez mettre en place au début (et l'infrastructure que vous mettez en place au début, elle, ne dépend pas de la variation du prix du pétrole ensuite). Donc c'est assez peu sensible au prix pour un gisement qui est déjà en exploitation.

Par contre, le prix détermine le fait que vous en mettiez des nouveaux. C'est-à-dire qu'aujourd'hui, pour mettre un nouveau gisement – même si c'est des cochonneries pour la forêt – de sables bitumineux en production au Canada, c'est mieux si le prix du baril atteint 80 ou 100 dollars. Et, si le prix du baril est à 30 dollars, vous n'y allez pas. Parce que vous êtes sûr de perdre votre chemise.

Et bien évidemment, si aucun autre paramètre ne varie, la réserve prouvée diminue avec le temps, puisqu'avec le temps, vous sortez une partie du pétrole qui est contenue sous terre. Donc ça ne peut pas augmenter la réserve qui y reste. Ce truc paraît relever du simple bon sens : on verra un peu plus tard que ce n'est pas exactement comme ça que les choses se passent dans le monde.

Vous avez une deuxième notion qui est importante dans les réserves : c'est ce qu'on appelle les « *réserves ultimes* ». Alors, les réserves ultimes, pour le dire simplement : c'est l'intégrale de la production entre le début et la fin. Ce sont les réserves ultimes.

Alors, ça vaut pour un gisement ; ça vaut pour le monde dans son ensemble ; ça vaut pour un bassin ; c'est tout ce qui va sortir, du début à la fin. Et comme tout ce qui va sortir, du début à la fin, ne varie pas avec le temps (normalement) : les réserves ultimes ne varient pas avec le temps.

Par contre, l'appréciation peut varier. Parce que vous pouvez vous rendre compte que vous vous êtes planté sur un paramètre dimensionnant. Et, à un instant donné, ce qui va finir de sortir d'ici à ce qu'on mette une croix sur le gisement s'appelle les « *réserves ultimes restantes* ».

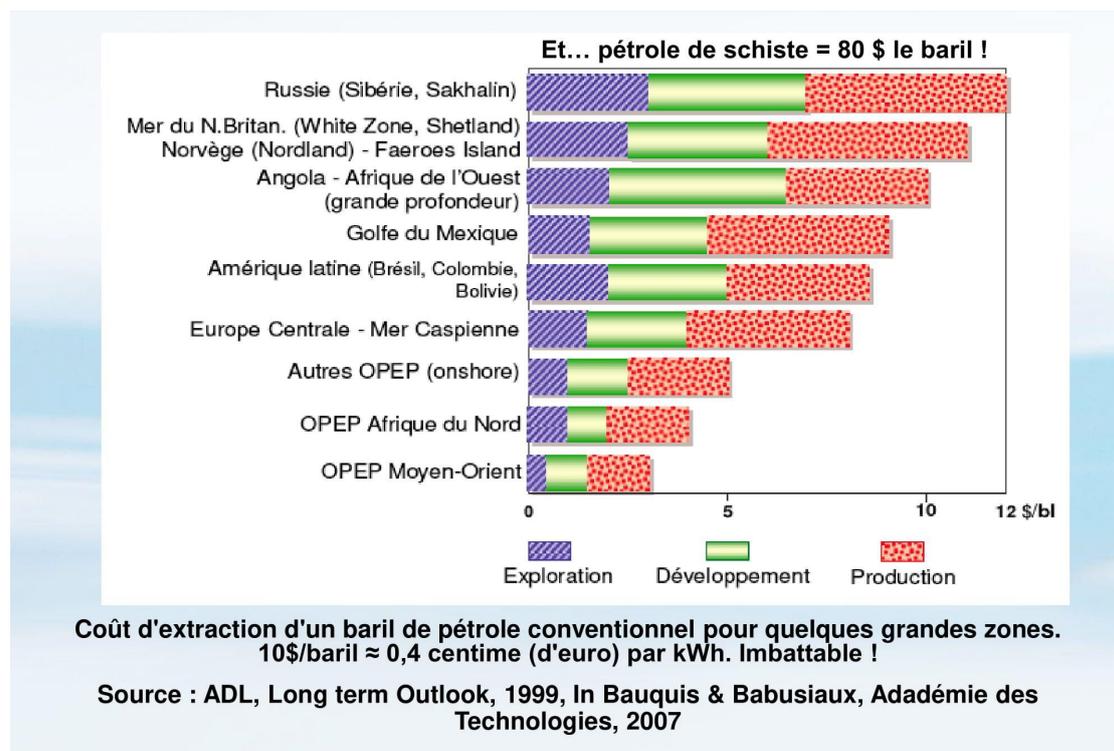
Dans un monde bien fait – je dis bien : dans un monde bien fait –, les réserves prouvées, à tout instant, sont nécessairement inférieures aux réserves ultimes restantes. On est d'accord ? Vous ne pouvez pas garantir qu'il va sortir du champ

## 26. LES JOIES DE LA NOMENCLATURE (BIS)

plus que ce qui va effectivement sortir (si vous avez bien fait votre boulot). Si vous avez bien fait votre boulot, ce que vous garantissez la tête sur le billot, c'est nécessairement inférieur ou égal à ce qui va vraiment sortir jusqu'au moment où vous allez arrêter l'exploitation. Nécessairement.

Comme je le disais, il y a toujours une petite incertitude dans l'exploitation. En fait, les réserves ultimes ne sont effectivement connues qu'une fois l'exploitation terminée.

## 27. Une réserve, c'est (un peu) pour un prix



Diapositive 31.

Comme je le disais, les réserves c'est pour un prix. Mais en fait les réserves sont assez peu sensibles aux prix parce que beaucoup d'exploitations de pétrole conventionnel sont rentables, en gros, quel que soit le prix du baril.

Vous avez ici les coûts techniques d'extraction – je dis bien *les coûts techniques d'extraction* – du baril dans un certain nombre de pays dans le monde.

Alors, ce que vous voyez, c'est qu'une bonne partie du pétrole sort entre 5 et 10 dollars le baril de coûts techniques d'extraction. Alors, vous allez me dire : « Où passent les 80 si ça coûte 10 d'en sortir un de terre ? » Ça passe essentiellement en rentes. C'est-à-dire en impôts, taxes et marges d'intermédiaires.

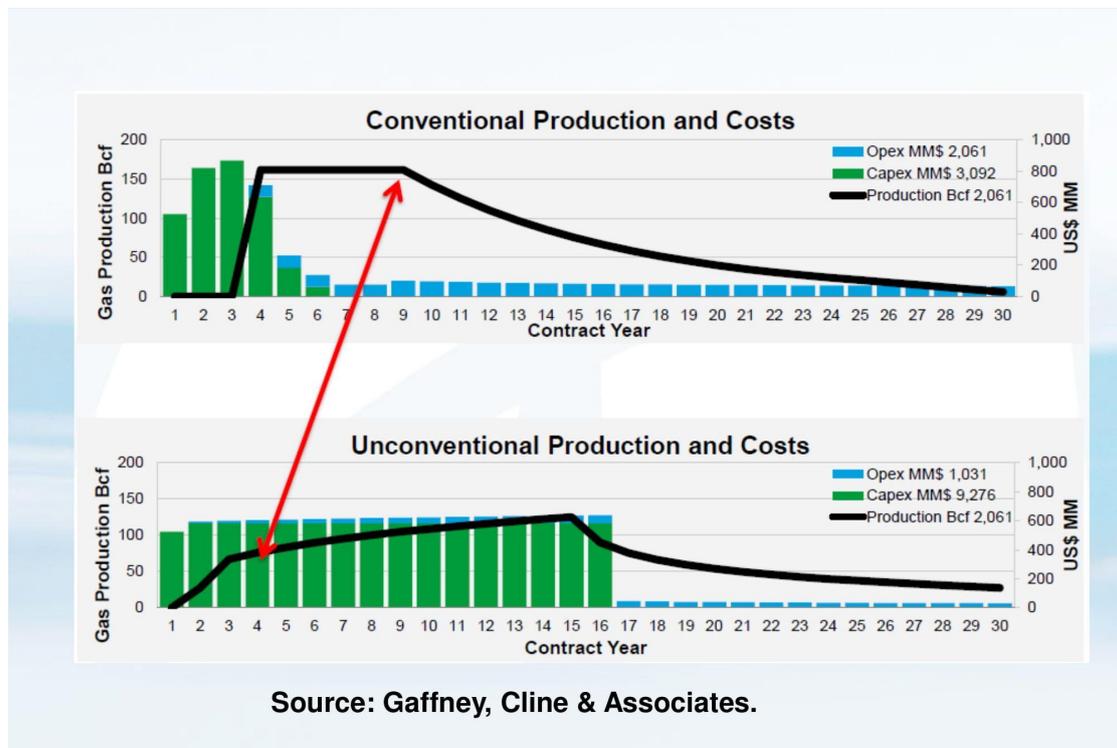
Alors, les marges d'intermédiaires, ce n'est pas le plus important. Vous avez une bonne partie du prix du baril qui sont des taxes payées au pays producteur. Quand vous exploitez du pétrole, vous avez en général un accord de partage entre la compagnie qui exploite et le pays qui détient le pétrole. C'est-à-dire que Total va en Irak ; Total négocie avec les Irakiens pour pouvoir avoir le droit

## 27. UNE RÉSERVE, C'EST (UN PEU) POUR UN PRIX

– ça s'appelle un « permis d'exploitation » – d'exploiter du pétrole qui se trouve là-bas ; et les Irakiens disent à Total : « OK, on est bien d'accord : ça va sortir à 10 dollars le baril. Eh bien, quand vous sortez un baril, moi je vous en donne 12 et le reste est pour moi. » Ça s'appelle *un accord de partage*. Ou bien : « Vous le sortez ; vous le vendez ; et, quel que soit le prix du baril, vous m'en donnez les deux tiers et vous vous démerdez pour gagner de l'argent sur ce qui reste. » Ce genre de truc s'appelle un accord de partage.

Donc, l'essentiel du prix du baril sur le marché part dans les pays producteurs. Et après, évidemment, à la pompe, il y a encore un supplément de prix qui part dans les poches du pays consommateur.

## 28. Hydrocarbures de schiste : back to the future



Diapositive 32.

Vous avez une différence fondamentale en ce qui concerne le pétrole dit « conventionnel » et le pétrole dit « de roche-mère » dans la structure des coûts.

Dans un gisement de *pétrole conventionnel*, vous avez une roche poreuse qui contient du pétrole. *L'essentiel des coûts a lieu avant que le premier baril de pétrole ne sorte.* Vous avez d'abord des coûts d'exploration. C'est-à-dire que vous vous baladez avec vos avions renifleurs un peu partout pour regarder s'il n'y aurait pas du pétrole. Alors en l'occurrence, ce n'est pas des avions renifleurs ; c'est, comme je le disais tout à l'heure, de la sismique – donc ça fonctionne avec des ondes sonores, des forages, etc.

Et puis si vous vous dites : « Là, je sais qu'il y a du pétrole et qu'il va sortir », vous devez construire vos infrastructures d'exploitation. Vos infrastructures d'exploitation, ce sont des engins qui coûtent cher – surtout maintenant que le nouveau pétrole accessible, c'est en général dans des zones dans lesquelles c'est compliqué – c'est en montagne, au fond de la jungle, avec 3000 mètres d'eau

## 28. HYDROCARBURES DE SCHISTE : BACK TO THE FUTURE

sous les pieds, dans la zone arctique, etc. Donc vous allez construire quelque chose qui vaut très cher – une plateforme d'extraction, à terre ou en mer – et derrière votre pétrole va sortir.

Je ne sais pas si je vous ai raconté l'anecdote de Kashagan? Non, je n'ai pas raconté l'anecdote de Kashagan? L'anecdote de Kashagan : Kashagan, c'est un gisement de pétrole qui se situe au nord de la mer Caspienne et pour lequel le budget initial de développement – c'est-à-dire d'installation des infrastructures de production – était de 5 milliards de dollars. Et ça s'est terminé à 50. Donc ils ont fait  $\times 10$  sur le développement, parce qu'il faut faire des trucs qui sont extrêmement compliqués; ça gèle l'hiver; ...

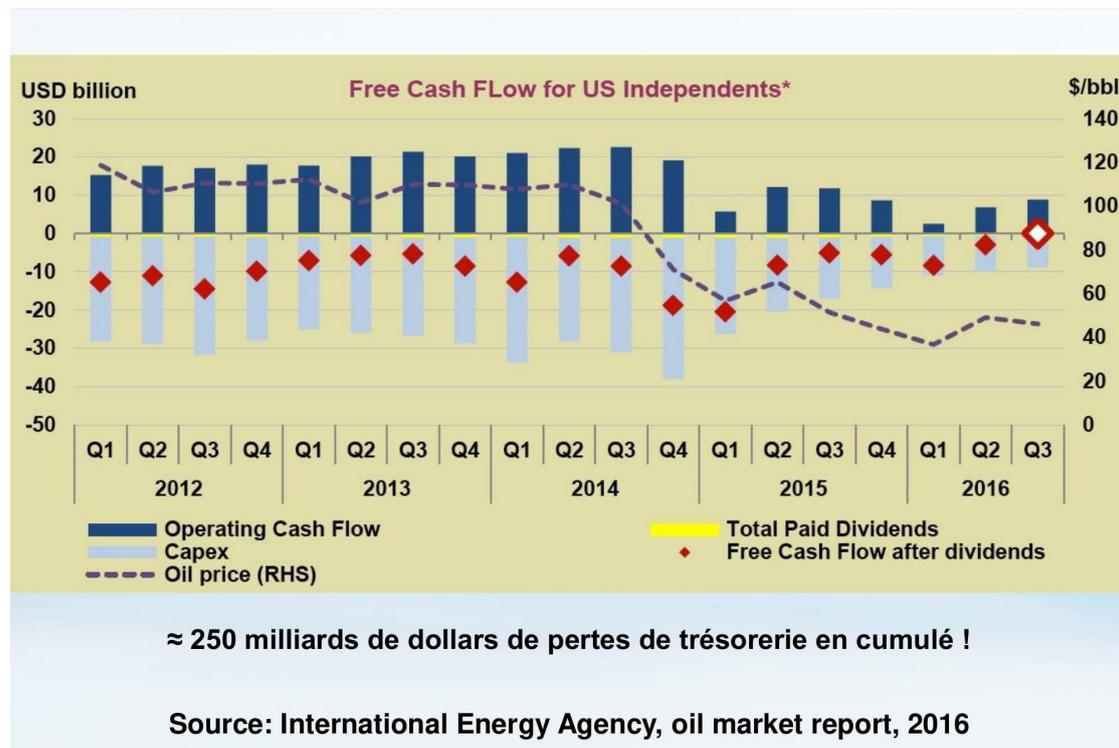
Donc, dans ce genre de gisements conventionnels, une fois que vous avez construit les infrastructures de production, derrière vous avez des coûts d'exploitation qui sont raisonnablement modestes : ce que vous voyez là. Donc, en vert, ce sont les coûts en capitaux de départ; en bleu c'est les coûts d'exploitation derrière; et la courbe noire c'est le profil de production.

En ce qui concerne *le pétrole de roche-mère* – je vais vous montrer dans pas longtemps (j'aurais dû commencer par ça mais peu importe) – *le profil de production d'un puits, c'est quasi un Dirac*. C'est-à-dire qu'après que le puits soit mis en production, il vous faut un mois pour qu'il monte au maximum de production. Et, un an après avoir été mis en production, il est retombé de 50 à 20% de son niveau initial. Donc c'est vraiment un truc où ça décline extrêmement vite après avoir été mis en production.

Du coup, pour conserver un approvisionnement constant en provenance d'un champ, il faut rajouter des puits en permanence. Donc le puits – la plateforme – n'est plus un élément de capital : c'est presque devenu un élément de charges courantes. C'est-à-dire que quand vous exploitez un champ de pétrole ou de gaz de roche-mère, le puits, c'est un consommable. Vous n'avez pas un puits comme une infrastructure – comme une plate-forme offshore – à quelques milliards de dollars : un puits, ça vaut quelques millions de dollars, puis vous en rajoutez en permanence, en permanence, en permanence, pour garantir le volume qui sort de votre champ.

Et alors, ça, ça vous montre qu'en gros, *ce qui était des investissements pour un champ de pétrole conventionnel devient (quelque part) des charges courantes pour des gens qui exploitent du pétrole de roche-mère*. Et ici, vous avez le profil de production correspondant. Dès que vous arrêtez de rajouter des puits en permanence, vous suivez exactement le même déclin qu'ici, avec quelques charges d'exploitation résiduelles.

## 29. Plein de trous sans l'ombre d'un dollar de gain ?



Diapositive 33.

À cause de cette particularité du pétrole et du gaz de roche-mère, vous avez cette bizarrerie aux États-Unis – et qui est un truc que je n’ai toujours pas bien compris (donc je vous livre le résultat brut mais je ne suis pas capable de vous livrer l’explication) – qui est que depuis 2012, en moyenne, si vous prenez l’ensemble des exploitants, les exploitants de pétrole et de gaz de roche-mère aux États-Unis perdent de l’argent.

C’est-à-dire que chaque année, l’argent qu’ils doivent décaisser pour payer les gens qui vont faire les puits, c’est plus que l’argent qu’ils vont gagner avec le pétrole qui sort des puits.

Alors, maintenant, ils doivent également payer non seulement les gens qui font les puits, mais également la dette croissante qu’ils ont contractée pour survivre à l’époque où ils ont commencé à faire les puits.

Donc, en gros, au moment où ils commencent à faire les puits, le pétrole est cher (il est à plus de 100 dollars le baril). Du coup, ils s’endettent avec des taux

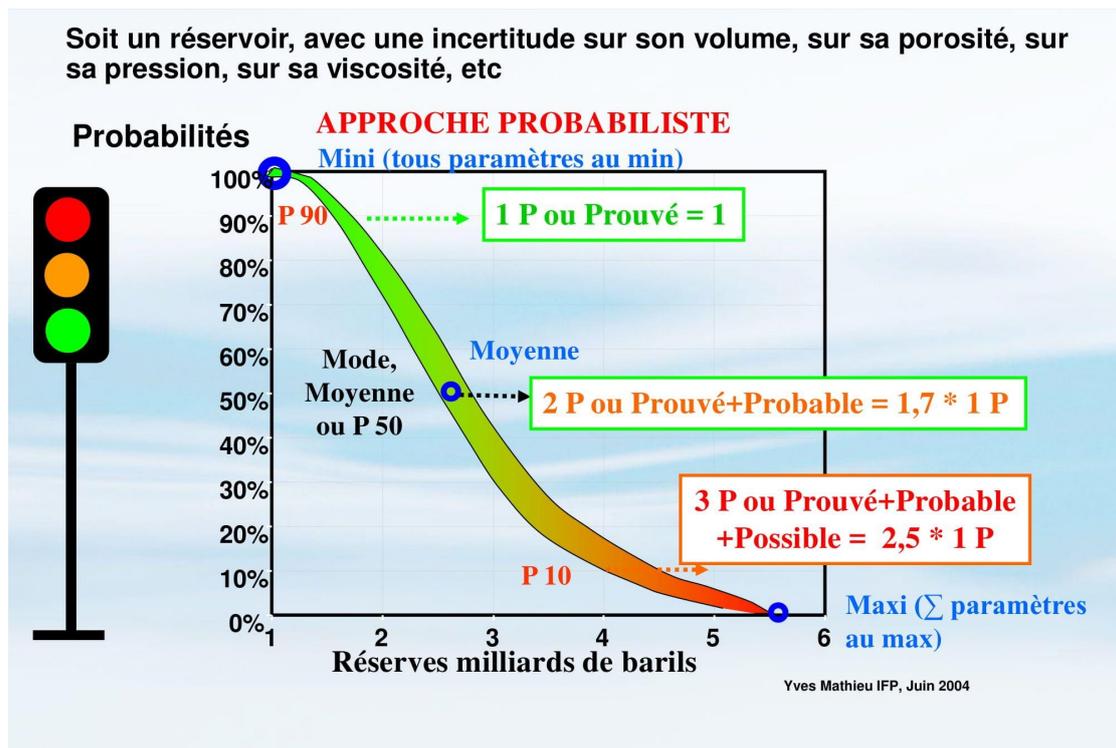
## 29. PLEIN DE TROUS SANS L'OMBRE D'UN DOLLAR DE GAIN?

d'intérêt élevés. Et maintenant – où les coûts d'exploitation ont quand même baissé –, ils ont une telle quantité d'intérêts à payer qu'ils ne gagnent toujours pas d'argent. Ils arriveraient à gagner de l'argent s'ils n'avaient plus de dettes, mais ils ont tellement de dettes qu'ils n'arrivent pas à gagner d'argent non plus.

Donc, il y a une bizarrerie dans le pétrole de roche-mère aux États-Unis. C'est la raison pour laquelle, personnellement, je surveille d'assez près ce qui est en train de s'y passer parce que mon sentiment, c'est que s'il y a une bizarrerie financière dans ce secteur-là, il pourrait y avoir un arrêt assez rapide de la croissance de la production de pétrole dans ce secteur. Et il se trouve que c'est le seul endroit au monde – avec l'Irak – où la production de pétrole continue à croître.

Donc, ce qui est en train de se passer en ce moment aux États-Unis dans le pétrole de roche-mère conditionne l'évolution de la production mondiale de pétrole. Et vous allez voir dans pas longtemps que ça conditionne un tout petit peu l'économie mondiale.

### 30. Faire le tour du hangar et regarder par le trou de la serrure



Diapositive 34.

Alors revenons à ce que je disais.

Vous avez donc un endroit où on pense qu'il y a du pétrole. Et selon le fait que vous mettez les paramètres dimensionnants...

\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« Le fait qu'ils perdent de l'argent, ce n'est pas en rapport avec une décision politique des pays de l'OPEP? Qui font chuter le prix des barils? »

Si j'avais la réponse, je vous l'aurais donnée. Je vous l'ai dit : moi, je n'ai pas la réponse. La décision politique des pays de l'OPEP, il n'y a que les gens qui couchent avec les décideurs de l'OPEP qui l'ont vraiment – et encore. Méfiez-vous beaucoup de ce qu'il y a dans le journal. Parce que dans le journal, il y a de la théorie du complot à tous les étages.

### 30. LE TOUR DU HANGAR, ET REGARDER PAR LE TROU DE LA SERRURE

Moi, je pense que pour avoir une réponse à ce genre de question, il faut avoir fréquenté les décideurs en question pendant dix ans ; les avoir un peu saoulés entre la poire et le fromage ; avoir recueilli leurs confidences ; et avoir fini par arriver à un tout cohérent. Tant qu'on n'en est pas là, il faut être hyper prudent sur la façon dont on pense que les choses se passent. Très honnêtement.

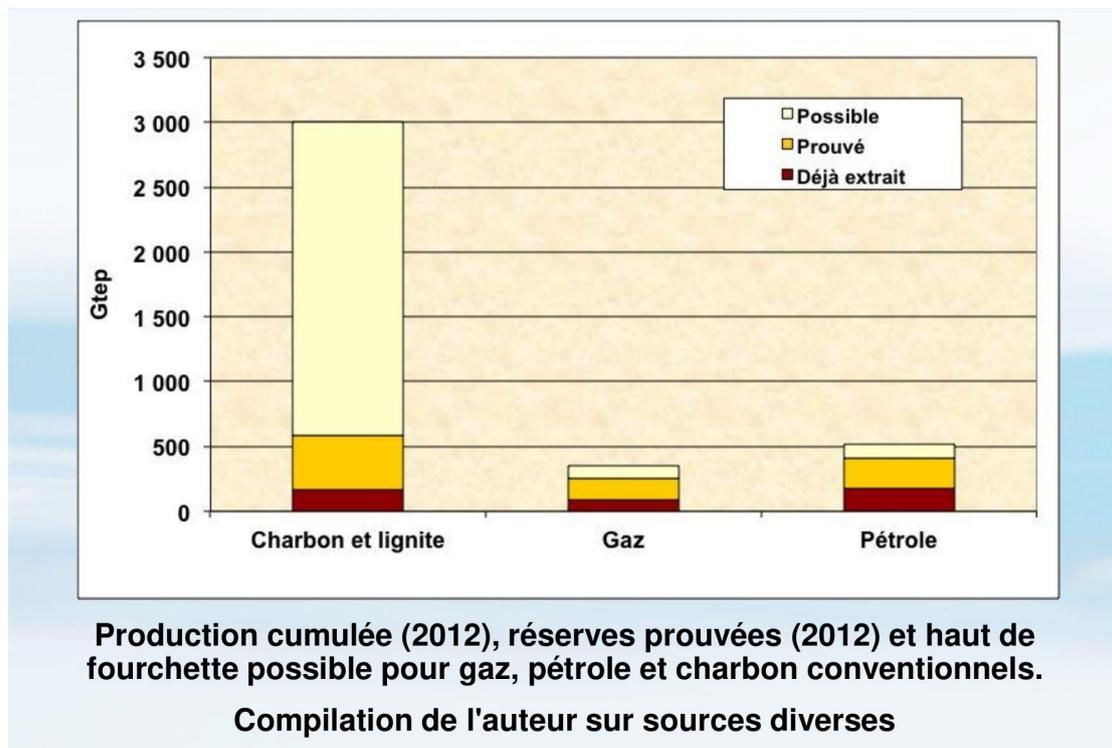
Je peux vous dire qu'il y a au moins un cas de figure dans lequel l'OPEP a raconté des choses dont je savais pertinemment qu'elles étaient fausses : c'est au moment du choc pétrolier de 2005 à 2008, où l'OPEP n'arrêtait pas de dire : « Le marché est suffisamment approvisionné, il n'y a pas de raison d'en rajouter. » Alors que les prix étaient en train de s'envoler et que les gens de l'OPEP savaient très bien que derrière, il allait y avoir des variations un peu désagréables. Et personnellement, je sais très bien qu'à l'époque, ils ne pouvaient tout simplement plus ouvrir les robinets. Il n'y avait pas de robinets à ouvrir. C'est-à-dire que les capacités inemployées de production étaient au taquet : il n'y en avait plus. Donc ils se cachaient derrière le fait de dire : « Le marché est suffisamment approvisionné. » Et les journaux de répéter : « Le marché est suffisamment approvisionné. »

Donc, moi je ne sais pas ce qu'il y a dans la tête des dirigeants de l'OPEP en ce moment. En plus, c'est plein de pays et ce n'est pas sûr que dans toutes les têtes de tous les dirigeants il y a exactement la même chose. Donc je ne sais pas. La seule chose que je sais, c'est qu'ils perdent de l'argent. Et du coup, c'est un équilibre instable.

J'en reviens à ce que je disais. Donc, en ce qui concerne mes réserves. Vous avez une approche probabiliste quand vous dimensionnez vos réserves. C'est un résumé de ce que je viens de vous dire :

- Si vous mettez tous les paramètres dimensionnants au plus conservateur, vous avez ce qu'on appelle les *réserves prouvées*.
- Si vous mettez tous les paramètres dimensionnants à la valeur que vous estimez la plus probable, vous avez les *réserves ultimes*.
- Si vous mettez tous les paramètres dimensionnants à la valeur la plus optimiste possible, vous avez ce qu'on appelle des « *réserves 3P* » – mais vous avez à peu près autant de chance d'avoir ça que de gagner au loto (un peu plus quand même, mais pas beaucoup plus).

## 31. Parlons chiffres



Diapositive 35.

Je n'ai pas réactualisé ce graphique qui traîne depuis de nombreuses années.

Il est juste pour dire qu'en ce qui concerne le pétrole et le gaz, la quantité totale de pétrole et de gaz extractible de terre dans les gisements dits « conventionnels » – donc je ne parle pas des roches-mères – est à peu près connue aujourd'hui. C'est-à-dire que le reste à découvrir – et vous verrez plus tard que l'on ne découvre pas grand-chose – dans ce domaine-là, aujourd'hui, est considéré comme étant très faible. Donc, le pétrole et le gaz extractibles, sur Terre, aujourd'hui, ne rentrent que dans deux catégories (pour l'essentiel) : ce qu'on a déjà extrait (ça on est sûr : c'est extractible) et ce qu'on n'a pas encore extrait, mais qui est contenu dans des endroits qui sont déjà localisés, évalués, quantifiés, etc. C'est dans l'un ou dans l'autre.

Alors que pour le charbon, ce n'est pas du tout le cas. Pour le charbon, il y a une beaucoup plus grosse incertitude sur ce qui pourrait être contenu dans des endroits qui ne sont pas, aujourd'hui, dans les réserves.

### 31. PARLONS CHIFFRES

Rappelez-vous que la chasse au pétrole ressemble à la chasse aux œufs de Pâques (pour ceux d'entre vous qui en ont déjà cherché dans leur jardin). Quand vous cherchez les œufs de Pâques, en général, vous allez trouver en premier les plus gros et les moins bien planqués. Le pétrole, c'est pareil. *Quand vous cherchez du pétrole, vous trouvez en premier les plus gros et les moins bien planqués.*

Ce qui veut dire qu'avec le temps, il vous reste à trouver les plus petits et les mieux planqués. C'est-à-dire : là où il n'y a pas grand-chose, ou bien s'ils sont gros ils sont extrêmement bien planqués. Et s'ils sont extrêmement bien planqués, ça veut dire qu'en termes de coûts d'exploitation, ça va être cher.

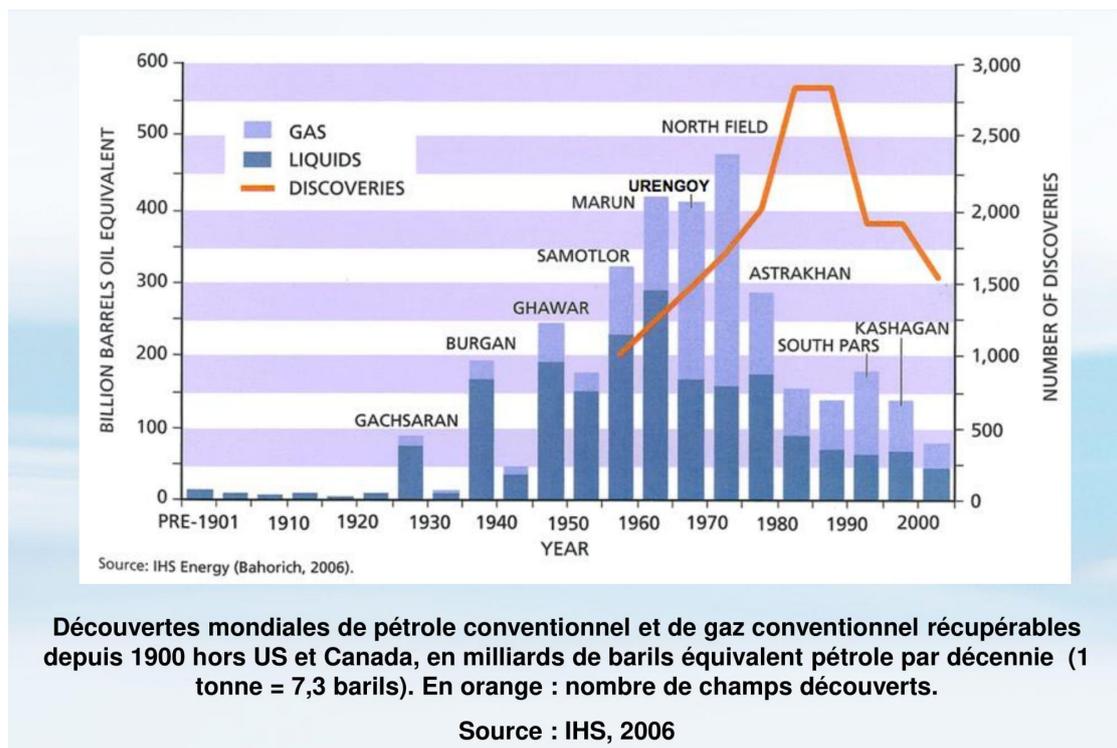
\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« Où sont les grandes réserves de charbon dans la nature ? »

Alors, les réserves de charbon, j'y viendrai à la fin de cette présentation. Vous verrez où se trouve le charbon.

Là, ce que vous avez en rouge, c'est le charbon déjà consommé. En jaune, vous avez les réserves qui sont déclarées exactement sur le même principe que les réserves pétrolières (normalement). C'est-à-dire : c'est dans des trucs déjà en exploitation et c'est ce que vous pouvez être sûr de sortir à prix et techniques constants. Et le reste, c'est la barre d'erreurs on va dire. C'est le charbon qui n'est pas dans les réserves et dont diverses sources pensent que ça pourrait être extrait si on avait envie de le faire. Et vous avez des chiffres qui ne sont pas du tout concordants. Donc vous avez une très, très grosse barre d'erreurs sur ce qui reste en dehors des réserves.

## 32. Mieux vaut d'abord trouver le pétrole si on veut l'extraire



Diapositive 36.

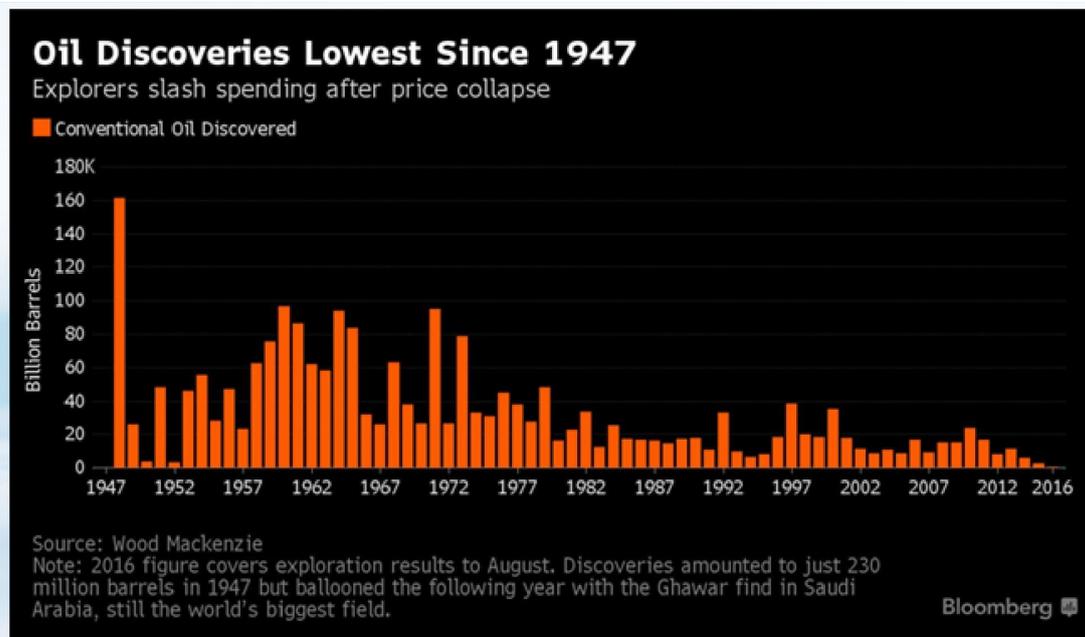
En ce qui concerne le pétrole et le gaz conventionnels, vous avez ici un histogramme qui vous donne l'historique des découvertes dans le monde, depuis le début du 20<sup>e</sup> siècle.

Ce que vous voyez sur cet histogramme, de manière manifeste, c'est que depuis, en gros, l'année de ma naissance – bon, vous n'existiez même pas, à peine sous forme d'ovocytes –, les découvertes de pétrole et de gaz ont décliné.

*Donc les découvertes de pétrole et de gaz contenus dans des gisements dits « conventionnels », c'est-à-dire des roches poreuses imprégnées et pas des roches-mères, déclinent depuis maintenant plus de cinquante ans.*

C'est une autre façon de dire que vous avez une tendance lourde qui est à l'œuvre, et qu'il vaut mieux ne pas trop compter sur la probabilité que l'on découvre, demain matin, un énorme œuf de Pâques, dont on n'avait vraiment pas idée jusqu'à maintenant.

### 33. C'est la petite bête qui descend, qui descend...

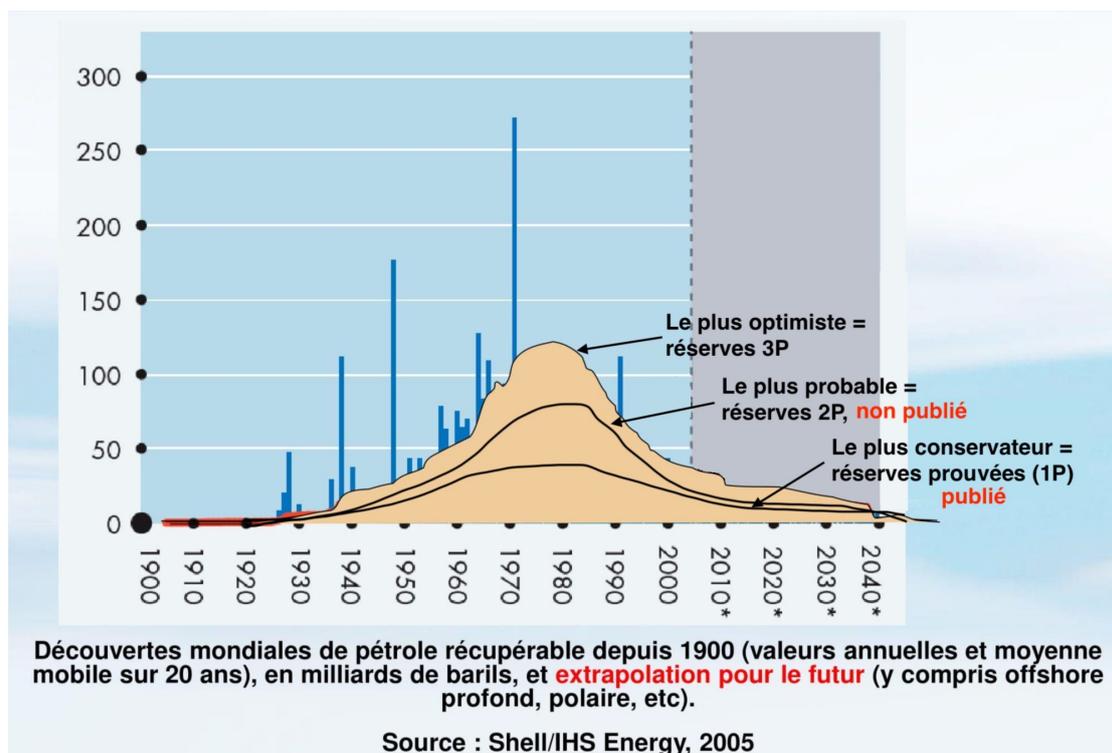


Découvertes mondiales de pétrole conventionnel depuis 1947, en milliards de barils  
Source : Bloomberg

Diapositive 37.

Voilà un autre graphique qui vous dit exactement la même chose.

### 34. Et il en sortira quoi de tout ça ?



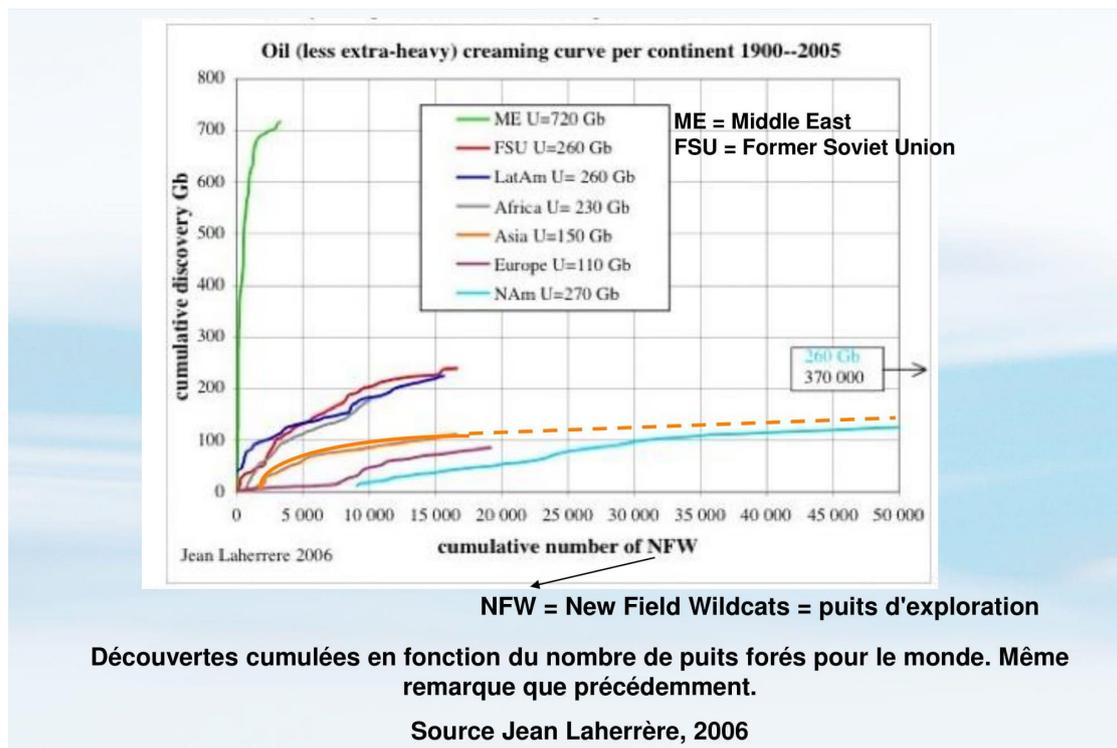
Diapositive 38. [Éditée par les transcripteurs.]

Et voilà encore un autre graphique qui vous dit exactement la même chose.

Et alors, ce que je vous disais tout à l'heure au sujet de ces découvertes, c'est que si au moment où vous découvrez, vous avez correctement évalué la quantité de pétrole extractible, il sortira effectivement ce que vous pensez avoir découvert. Parce qu'en général, les découvertes se comptent en pétrole extractible le plus probable (donc en 2P).

Si vous n'avez pas eu de chance, il en sortira ça. Et si vous avez beaucoup de chance il en sortira ça.

### 35. Moins de découvertes parce que nous cherchons moins?

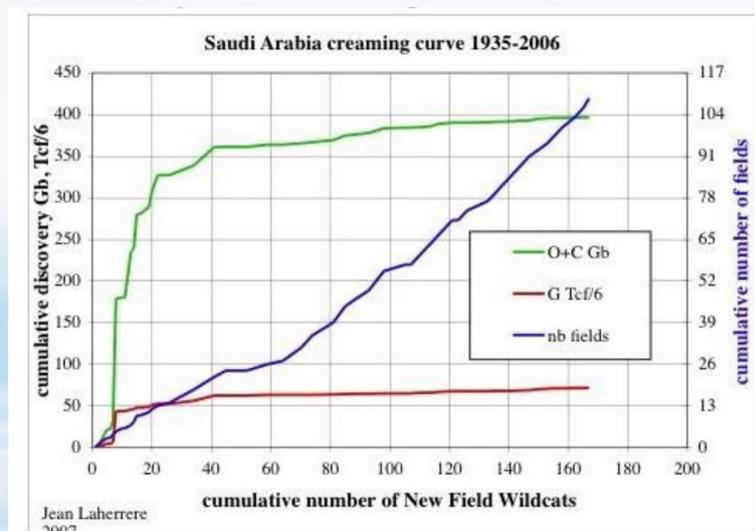


Diapositive 39.

Les régions du monde étant de mieux en mieux connues au fur et à mesure qu'elles sont de plus en plus explorées, ce que vous voyez sur ce graphique, c'est le cumul des découvertes (en ordonnée) en fonction du cumul des puits d'exploration qui ont été forés.

Ce que vous voyez c'est que toutes ces courbes ont une asymptote horizontale. C'est à dire qu'à un moment, vous avez tout découvert. Vous pouvez bien rajouter des puits d'exploration, il n'y a plus rien à découvrir. Donc vous ne découvrez rien. Et vous voyez également que la découverte marginale tend à s'amenuiser au cours du temps.

### 35. MOINS DE DÉCOUVERTES PARCE QUE NOUS CHERCHONS MOINS?



Découvertes cumulées en fonction du nombre de puits forés pour l'Arabie Saoudite. Il est facile de constater que plus le nombre de puits d'exploration forés est important, moins les derniers puits forés contribuent aux découvertes.

Source Jean Laherrère, 2007

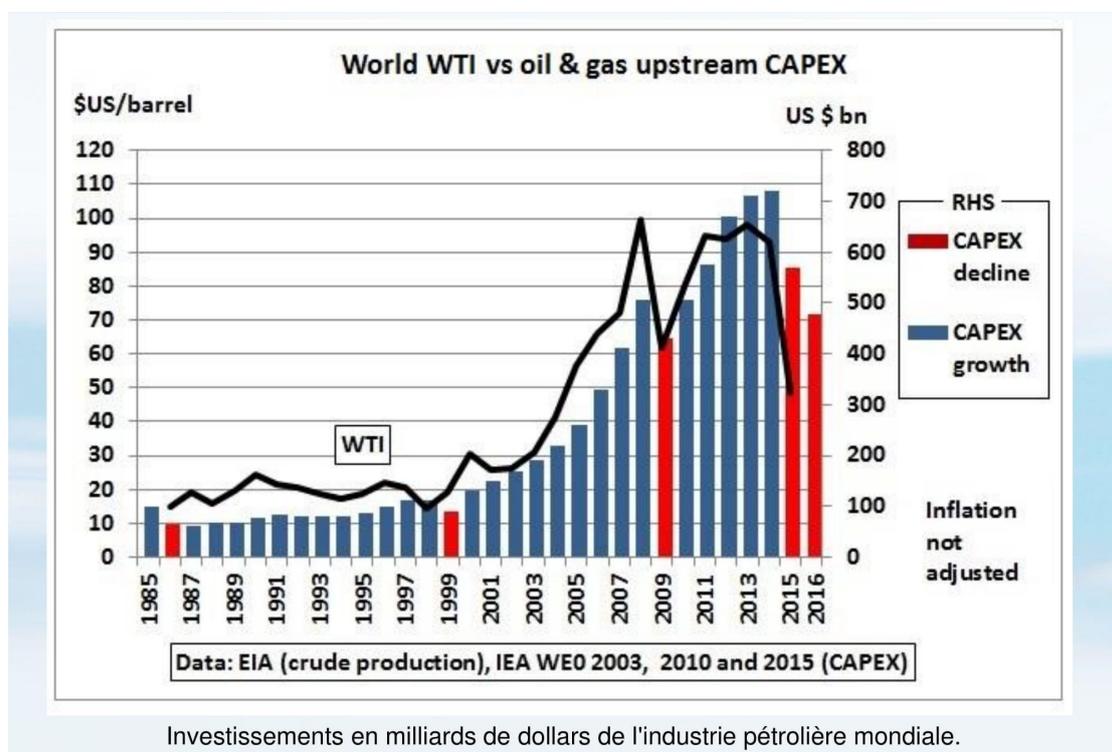
Diapositive 40.

Là, vous avez un zoom sur le Moyen-Orient, parce que sur la courbe précédente, vous pouvez avoir l'impression que ça continue à monter en flèche. En fait si vous dézoomez, ça donne ça.

Il se trouve que le Moyen-Orient, c'est un endroit où on a découvert des champs super géants, dont le plus grand champ jamais découvert au monde, Ghawar, qui faisait 100 milliards de barils à sa découverte. 100 milliards de barils, c'est trois ans de consommation actuelle. Donc c'est quand même un bon gros champ.

Et donc le Moyen-Orient, c'est exactement comme le reste. Donc il y a probablement encore des trucs à découvrir si on cherche – à supposer qu'on doive chercher à cause du climat – mais on a découvert l'essentiel.

### 35. MOINS DE DÉCOUVERTES PARCE QUE NOUS CHERCHONS MOINS?

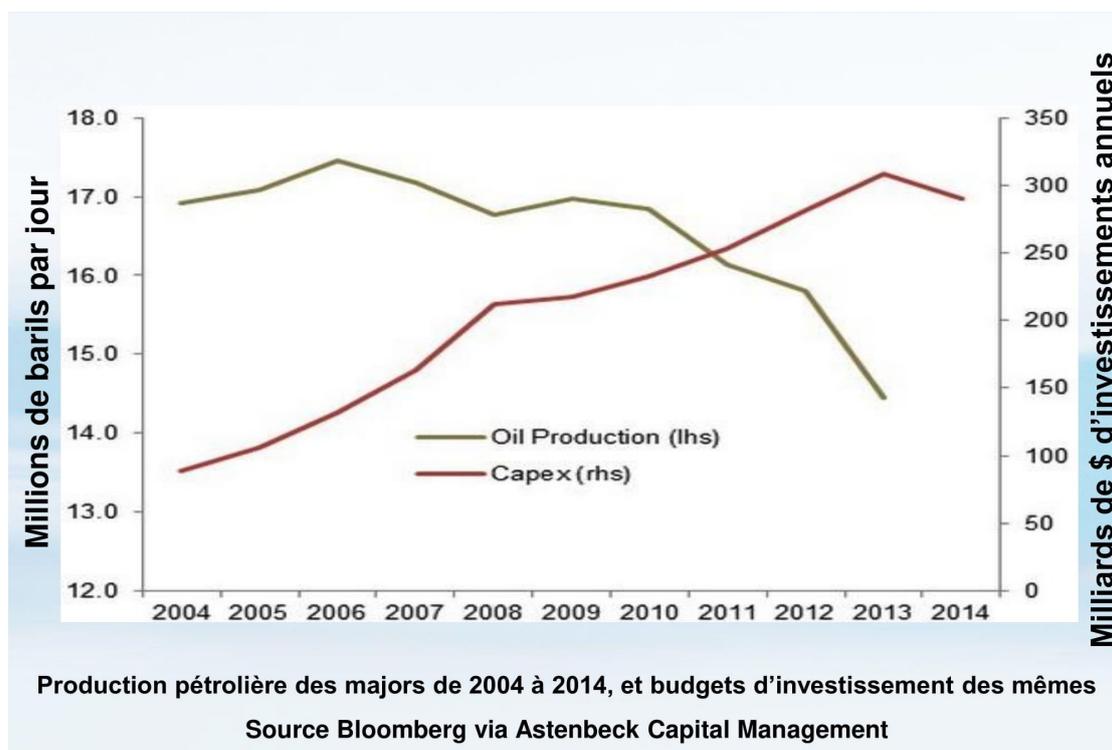


Diapositive 41.

Ce que vous voyez également sur ce graphique, c'est que l'envie de chercher est très corrélée au prix du pétrole. Vous avez ici la quantité d'argent qu'on a investi dans les découvertes – je dis bien dans les découvertes, dans le jeu d'exploration. Et ici vous avez le prix du baril, en noir. Vous voyez qu'au moment où le prix du baril monte, on cherche avec plus de frénésie. Pour autant, ça ne veut pas dire qu'on trouve plus, puisque vous avez vu sur les courbes d'avant que *les découvertes avaient tendance à diminuer avec le temps*.

Donc la raison pour laquelle les découvertes baissent, ce n'est pas parce que ces feignants de pétroliers, en embauchant des feignants d'ingénieurs des Mines, ont arrêté de chercher et ne trouvent plus rien. C'est juste parce qu'à un moment, vous avez trouvé tous les œufs de Pâques dans le jardin. Et donc, vous pouvez chercher avec frénésie, vous ne trouverez rien.

## 36. Mais ça ne suffit pas à produire plus...



Diapositive 42.

Et vous avez ici un graphique qui vous dit à peu près la même chose.

Vous avez en rouge, pour ce qu'on appelle les « Majors », qui sont en fait les compagnies internationales cotées, les dépenses d'exploration. Et en vert, la production de ces mêmes sociétés. Et donc, vous voyez que ce n'est pas parce qu'elles ont investi plus que la production a suivi. En fait elles ont surtout investi pour essayer de limiter le déclin. C'est plutôt comme ça qu'il faut voir les choses.

\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« Par rapport à l'augmentation du prix des dépenses d'exploration, est ce que c'est uniquement lié au prix, ou est ce qu'avec le temps qui passe, on a de moins en moins de réserves, et on doit de plus en plus explorer ? »

Ça c'est une partie de la réponse. Une autre partie de la réponse c'est que, quand le prix monte vous vous dites : « Si j'arrive à trouver quelque chose, ça aura encore plus de valeur qu'avant. » Et donc les deux effets conjugués, qui sont à

### 36. MAIS ÇA NE SUFFIT PAS À PRODUIRE PLUS...

la fois la hausse du prix, qui elle-même a été déclenchée par une insuffisance d'offre... Donc, la hausse du prix est déclenchée par une insuffisance d'offre...

Donc vous avez deux éléments, effectivement, qui vous poussent. L'insuffisance d'offre vous dit : « Quand même, si je trouvais un truc ça serait bien, parce que je pourrais augmenter l'offre. » Et par ailleurs : « Comme ça vaut cher, si je trouve quelque chose c'est tout bénéfice. » Et donc, vous allez chercher des trucs qui sont un peu plus marginaux que si le prix est bas.

Si le prix est bas, vous vous dites : « Ce n'est même pas la peine que je cherche parce que de toute façon, si je trouve quelque chose, ça coûtera plus cher à exploiter que le bénéfice que je vais en retirer. » Et à chaque fois que le prix monte, vous avez des franges marginales qui deviennent potentiellement intéressantes et vous vous dites : « Si j'arrive à trouver quelque chose, là, éventuellement, ça vaut le coup. » Donc vous augmentez les budgets de l'exploration.

\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« D'où vient la soudaine chute du prix du pétrole? »

Alors vous avez dans le prix du pétrole un phénomène d'oscillation qui est lié au fait que le cycle du développement d'un projet et le cycle de réponse du consommateur ne sont pas accordés. Vous avez un décalage de phase. Et donc, ce décalage de phase vous induit *une oscillation du prix du pétrole*. Dit autrement, comme c'est une oscillation, il n'y a pas de début et pas de fin. Donc je prends l'histoire à un moment donné.

À un moment donné, le prix est ce qu'il est, et la consommation est ce qu'elle est. Vous avez une consommation qui a envie d'augmenter un peu. À ce moment, le prix augmente. À ce moment, les pétroliers se disent : « Comme le prix augmente, eh bien, je vais investir un peu plus pour augmenter l'offre. » À ce moment, l'offre augmente un peu. Mais comme l'offre n'augmente pas tout de suite, le prix du pétrole continue d'augmenter, sauf qu'à ce moment, le consommateur se dit : « Bon, ça commence vraiment à valoir cher cette affaire. Je vais faire un peu attention. » Donc la hausse de l'offre sur la hausse de la demande se modère, voire la demande baisse un peu.

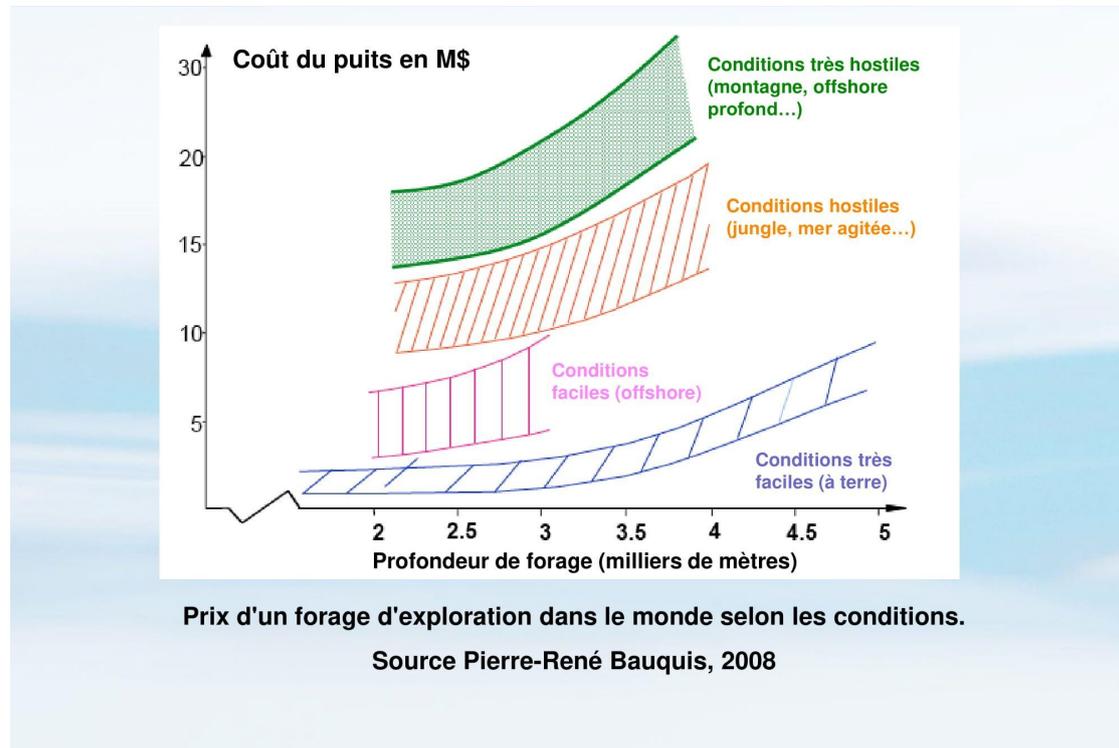
Et au moment où les nouveaux projets arrivent sur le marché, vous avez une offre qui devient un peu surabondante. À ce moment, le prix se casse la gueule. À ce moment les pétroliers s'arrêtent d'investir. À ce moment, ça resserre l'offre. Mais comme le prix se casse la gueule, le consommateur se dit : « Miam-miam ! je vais en consommer un peu plus. » Et donc, les deux phénomènes oscillent en opposition de phase ou en décalage de phase.

### 36. MAIS ÇA NE SUFFIT PAS À PRODUIRE PLUS...

Alors, ça ne vous dit pas quel est le volume, cette histoire. Par contre ça vous dit que, *livré à lui-même, le prix oscille* – j’ai envie de dire – au rythme de réponse du consommateur, et au rythme de développement des nouveaux projets.

Alors dans le shale oil, comme la réponse est beaucoup plus rapide – parce qu’en fait, forer un puits ça va très vite – le phénomène « shale oil » va probablement raccourcir la longueur d’onde de l’oscillation. C’est mon pari en tout cas. Ce n’est pas une certitude, mais en tout cas c’est une hypothèse que je suis raisonnablement prêt à prendre comme hypothèse de travail.

## 37. Chère, la technologie!



Diapositive 43.

Par ailleurs, les puits d'exploration ont tendance à valoir de plus en plus cher.

Ici vous avez le coût d'un puits d'exploration, et vous voyez que c'est quelque chose qui a tendance à augmenter avec la difficulté du terrain dans lequel vous avez besoin d'aller regarder.

### 38. Les réserves, normalement sensibles à l'activité des shadoks



Diapositive 44.

Alors, une fois que je vous ai dit tout ça, vous avez donc des réserves. Et ces réserves sont déclarées, à la fois par des compagnies, et à la fois par des pays.

La raison pour laquelle les compagnies déclarent les réserves, quand elles les déclarent – ce qui concerne à peu près 10% des opérateurs pétroliers dans le monde – c'est, en général, parce qu'elles sont cotées en bourse. À ce moment, vous avez une obligation de communiquer le montant de vos réserves prouvées, notamment au titre de la régulation américaine de la Security and Exchange Commission.

Quand vous êtes un pays, notamment de l'OPEP, la communication de vos réserves sert à arbitrer les quotas de production entre pays de l'OPEP. Cette donnée a une importance assez forte pour les pays de l'OPEP, parce que c'est avec les réserves prouvées que vous vous répartissez les quotas de production. Dit autrement, quand l'OPEP dit : « Je vais produire tant au total », c'est au prorata des réserves de chacun.

### 38. SENSIBILITÉ DES RÉSERVES À L'ACTIVITÉ DES SHADOKS

\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« Quand c'est un pays qui produit, est ce que c'est le pays qui communique sur ces réserves ? »

Alors là, en général, quand il s'agit d'un pays du type Argentine, en fait, ce sont les réserves des opérateurs internationaux opérant en Argentine qui publient leurs réserves et qui sont agrégées pour faire les réserves de l'Argentine. C'est comme ça que ça marche. Mais quand je vais vous montrer les réserves saoudiennes, ce n'est pas comme ça que ça marche. C'est l'État saoudien qui publie les réserves.

\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« L'état saoudien ? »

Vous allez voir. Ça vient. Vous verrez.

\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« C'est quoi les quotas dont vous parlez, entre les pays de l'OPEP ? »

Alors l'OPEP c'est une organisation qui a été créée pour cartéliser la production de pétrole. Donc c'est un cartel qui a été créé, et qui sert à limiter délibérément la quantité de pétrole disponible sur le marché en s'attribuant des quotas de production. C'est-à-dire que l'OPEP dit : « Voilà, pour les trois années qui viennent, ou pour l'année qui vient, pour les deux années qui viennent, etc., on va produire tant, et pas plus que tant. » C'est un quota. C'est une limitation.

Et l'OPEP a fait ça historiquement pour stabiliser les cours du pétrole. Ce qui, du reste, a très bien marché puisque le prix du pétrole, je vous l'ai montré au dernier cours, pendant un siècle, entre 1870 et 1970, n'a pas varié, à 20 dollars constants le baril. Ces dollars de l'époque ça variait. Mais en dollars constants c'est resté à 20.

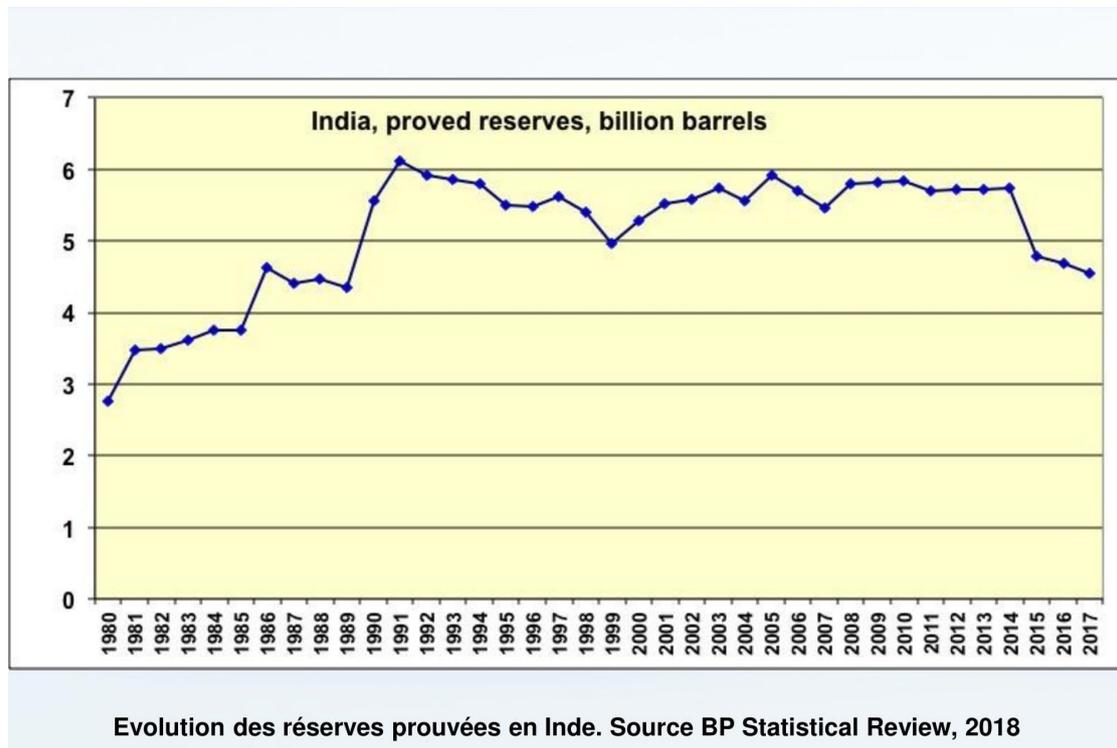
Donc c'est ça, l'OPEP. Donc c'est essentiellement des pays du Moyen-Orient, et en plus il doit y avoir le Venezuela dedans. Enfin bon, ce sont les pays exportateurs. OPEP, ça veut dire « Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole ». Et en anglais ça se dit OPEC, ce qui, si ma mémoire est bonne, signifie « Oil Producers Exporting Countries » [*sic* : Organization of the Petroleum Exporting Countries].

Alors j'en reviens à la réserve. Je vous ai dit tout à l'heure que les réserves prouvées diminuent avec le temps – toutes choses égales par ailleurs –, augmentent avec les découvertes, augmentent avec les réévaluations, etc. Ce qui veut dire que, quand vous regardez les réserves d'une zone, il n'y a pas de raison particulière, sauf un coup de chance une année, qu'elle soit constante d'une année sur l'autre.

### 38. SENSIBILITÉ DES RÉSERVES À L'ACTIVITÉ DES SHADOKS

Donc, une évolution normale des réserves d'un pays ça ressemble à ça. Ça monte. Ça descend. Ça monte. Ça descend. Donc là, on peut supposer qu'il y a eu une découverte. Là, il y a eu deux ans d'exploitation sans rien. Là il y a de l'exploitation sans rien. Là, il y a une découverte, mais petite. Là, il y a de l'exploitation sans rien, ou on a éventuellement déclassé même, une réserve, etc. Là, on découvre des tas de trucs malgré l'exploitation, etc. D'accord?

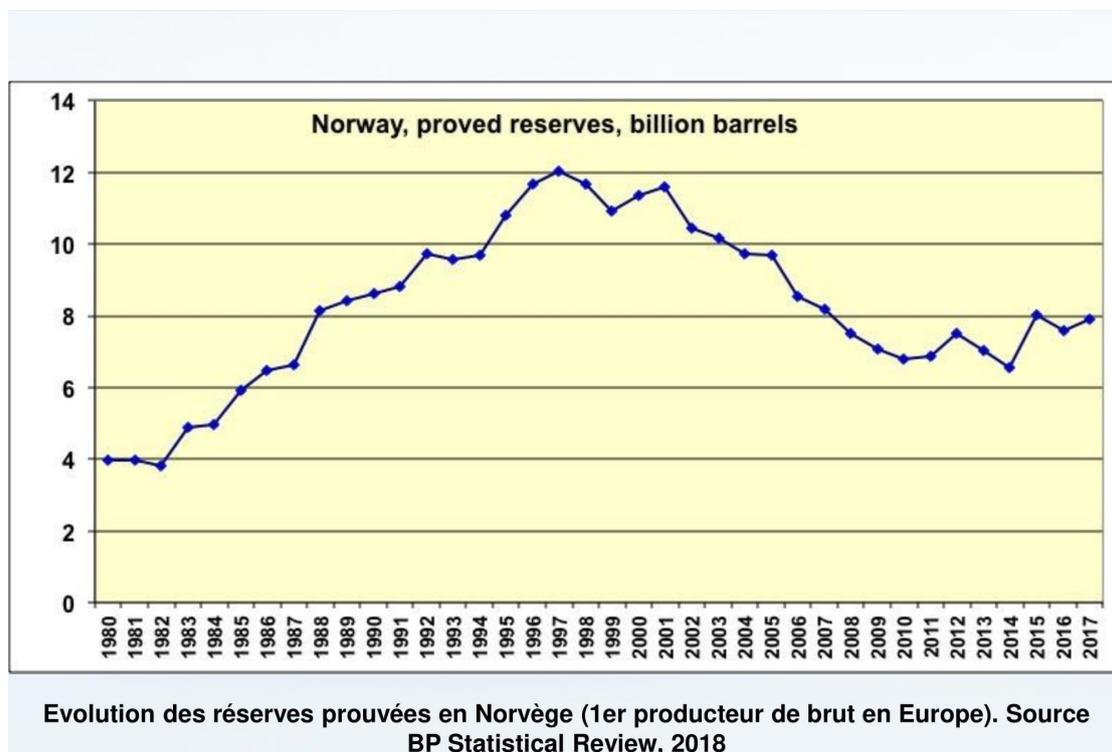
C'est ça l'histoire normale des réserves : ça monte et ça descend.



Diapositive 45.

Voilà un autre pays où ça monte et ça descend. Donc on se dit : « Très bien, ça monte et ça descend. »

### 38. SENSIBILITÉ DES RÉSERVES À L'ACTIVITÉ DES SHADOKS

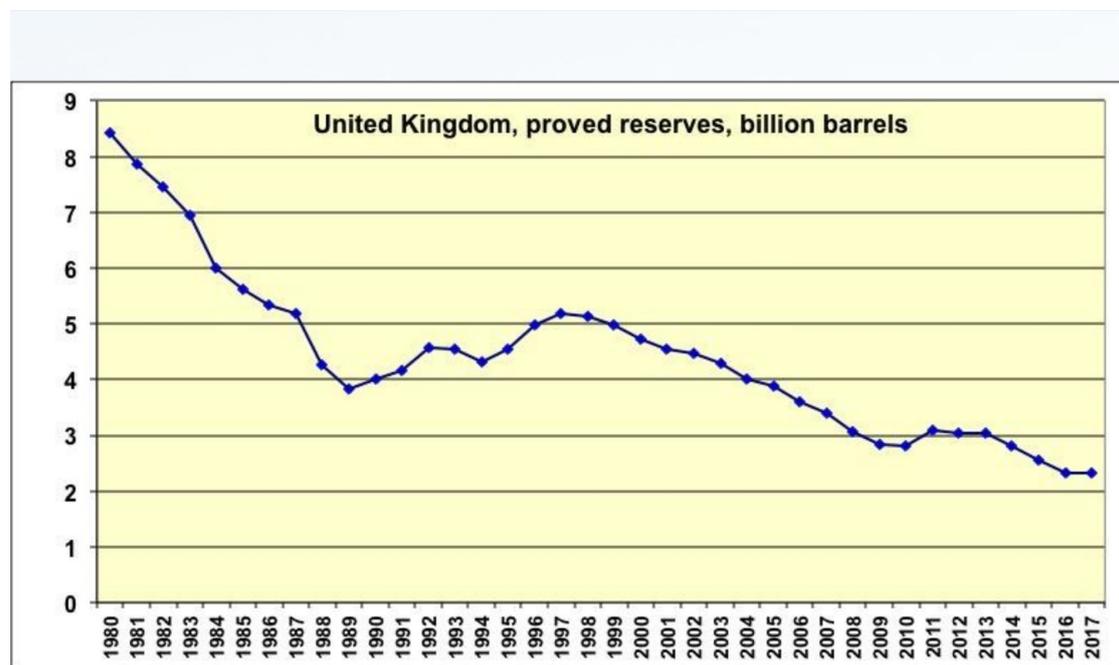


Diapositive 46.

Voilà la Norvège. C'est monté très vite après les chocs pétroliers parce que la mer du Nord a été mise en production dans les années 70. Et puis, à un moment, ça passe par un maximum, puis ça descend.

Là, le prix très élevé du pétrole des dernières années a relancé de l'exploration, a conduit les Norvégiens à mettre en œuvre des techniques de récupération assistée qui font qu'on augmente un peu le volume qu'on considère qu'on va récupérer.

### 38. SENSIBILITÉ DES RÉSERVES À L'ACTIVITÉ DES SHADOKS

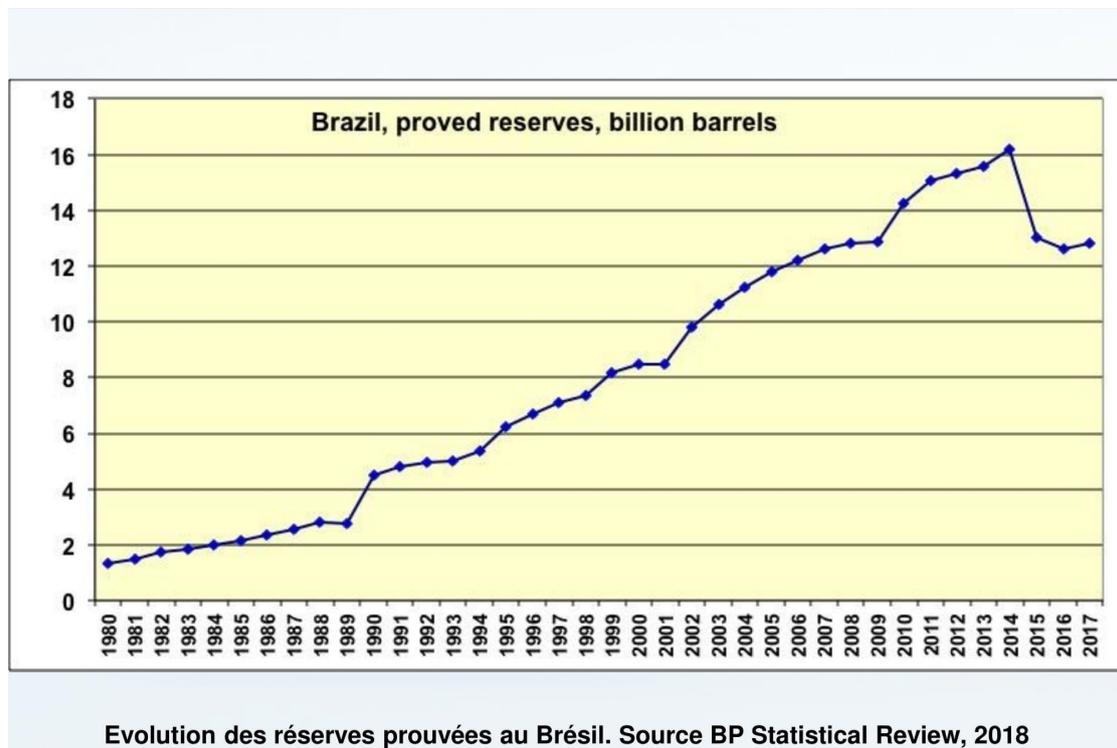


Evolution des réserves prouvées en Grande Bretagne. Source BP Statistical Review, 2018

Diapositive 47.

Voilà un pays qui a aussi une évolution normale – j'ai envie de dire, malheureusement pour lui – qui est le Royaume-Uni.

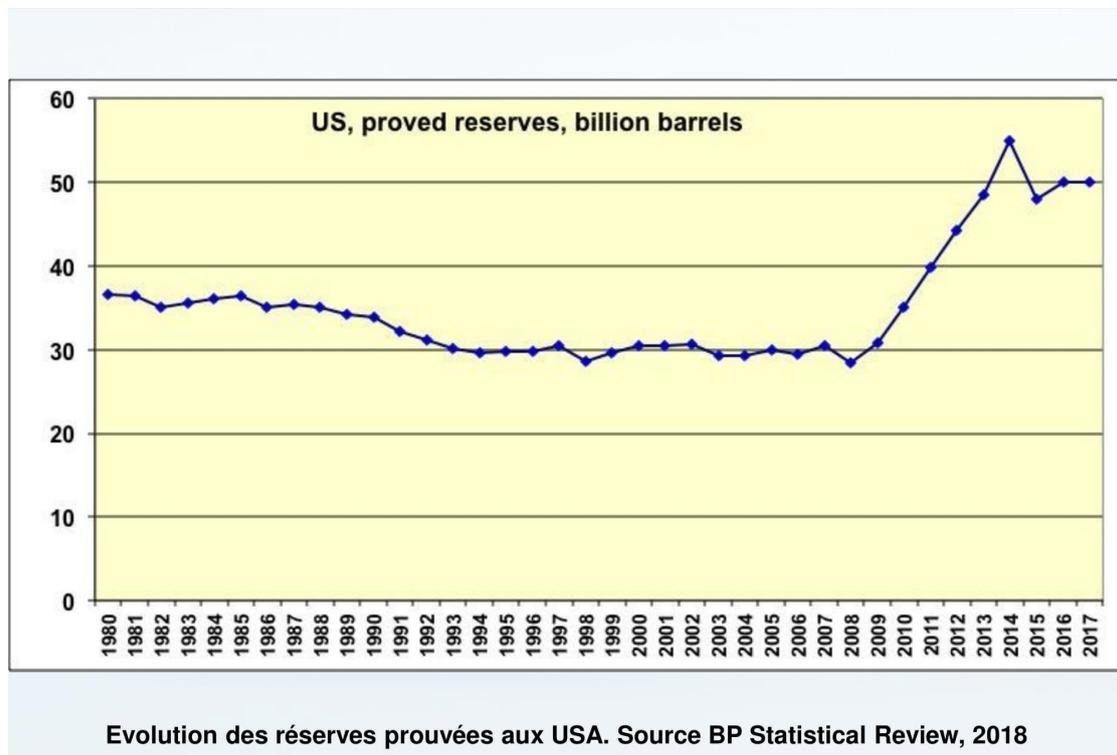
38. SENSIBILITÉ DES RÉSERVES À L'ACTIVITÉ DES SHADOKS



Diapositive 48.

Voilà un pays dans lequel on augmente parce qu'on n'arrête pas de découvrir, puis ça diminue, etc.

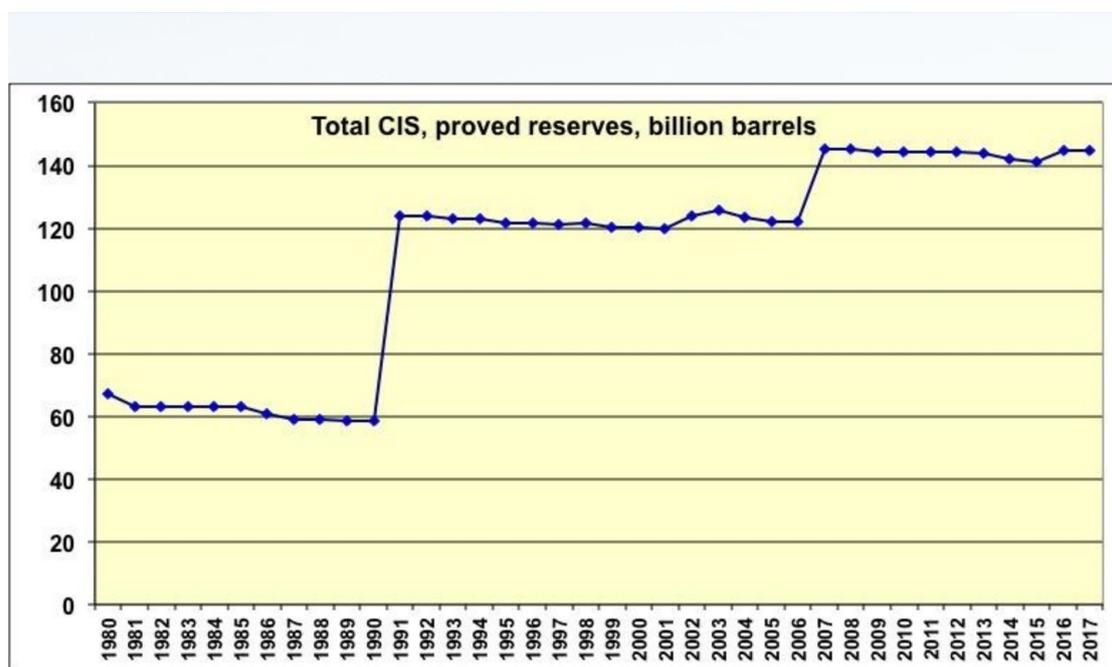
38. SENSIBILITÉ DES RÉSERVES À L'ACTIVITÉ DES SHADOKS



Diapositive 49.

Voilà les États-Unis. Ça, c'est l'apparition du shale oil.

### 38. SENSIBILITÉ DES RÉSERVES À L'ACTIVITÉ DES SHADOKS



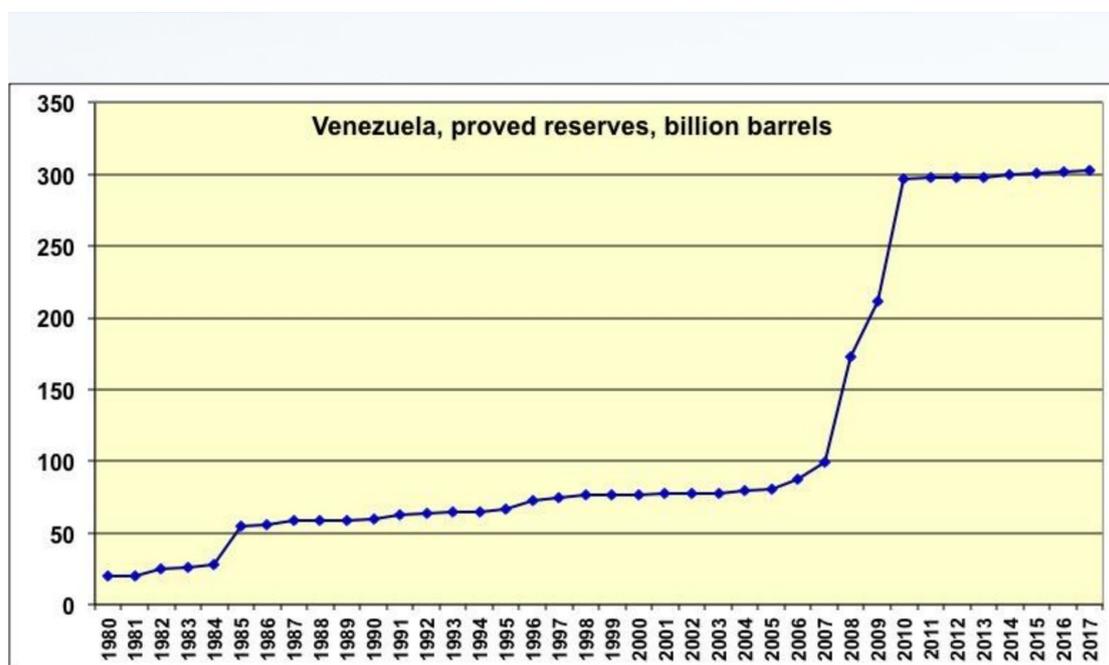
Evolution des réserves prouvées dans l'ancienne URSS. Source BP Statistical Review, 2018

Diapositive 50.

Et puis voilà les Russes. Enfin, c'est l'ancienne URSS. Alors ça, c'est déjà un peu plus bizarre.

Alors, les pays de l'ancienne Union Soviétique – c'est ça que ça veut dire, « CIS », c'est l'ancienne Union Soviétique – sont des pays dans lesquels, en particulier la Russie, vous n'avez pas accès commodément à des chiffres sur les réserves. Donc vous avez accès à ce qu'ils vous disent et puis ça s'arrête à peu près là.

### 38. SENSIBILITÉ DES RÉSERVES À L'ACTIVITÉ DES SHADOKS



Evolution des réserves prouvées au Venezuela. Source BP Statistical Review, 2018

Diapositive 51.

Voilà le Venezuela. On se dit que le Venezuela ça devrait aller super bien ! Ils sont assis sur un tas d'or ! Donc qu'est ce qui se passe ?

Alors en fait, il se passe que le pétrole qui conduit à l'extraordinaire augmentation des réserves, ici, c'est un pétrole particulier extra-lourd qui ressemble à du miel et qui se situe dans le bassin d'un fleuve qui s'appelle l'Orénoque.

C'est donc un pétrole qui ne s'exploite pas avec des techniques classiques. En fait, il faut le chauffer pour qu'il devienne suffisamment fluide pour qu'il remonte par les puits. Ça demande une dépense d'énergie sur place, et surtout des infrastructures qui sont très capitalistiques, qui ne sont pas mises en œuvre à large échelle aujourd'hui.

Dit autrement, alors que le Venezuela est en train – vous allez le voir dans pas longtemps – de vider ses baignoires de pétrole conventionnel, ils ont trouvé une énorme baignoire d'un truc qui, lui, va se vider beaucoup plus difficilement.

Et ils disent : « Ce n'est pas grave, les deux se valent. » Donc ils réévaluent leurs réserves en rajoutant la baignoire qui va être très difficile à vider mais qui est très grosse.

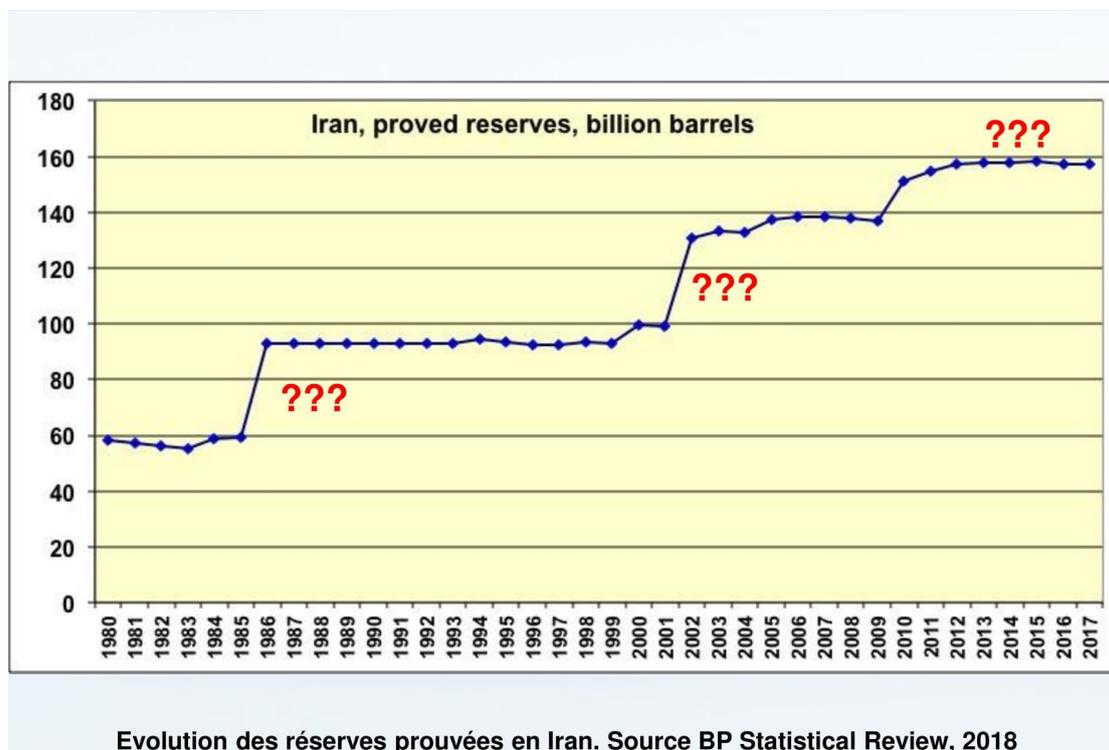
### 38. SENSIBILITÉ DES RÉSERVES À L'ACTIVITÉ DES SHADOKS

Là se pose donc la question de savoir si c'est orthodoxe. Dit autrement, si vous avez un énorme héritage dont le testament dit que vous ne pourrez dépenser qu'un euro par jour, qu'est-ce que ça vaut? Est-ce que ça vaut effectivement tout l'argent que vous avez sur le compte en banque? Ou est-ce que vous dites : « Non, non! Raisonnablement, tout ce que je compte c'est 1 euro par jour d'ici à ce que je meure. Donc  $365 \times 60$ . Et on s'arrête là. »

Moi j'ai envie de dire : « C'est plutôt la deuxième option que j'ai envie de prendre. » Mais les Vénézuéliens disent : « Non! S'il y a un milliard sur le compte en banque, même si je ne peux dépenser qu'un euro par jour, je compte un milliard. »

Vous voyez que c'est une affaire de conventions. Donc la convention choisie vous pousse ça vers des sommets. On aurait très bien pu ne pas pousser ça vers les sommets.

### 38. SENSIBILITÉ DES RÉSERVES À L'ACTIVITÉ DES SHADOKS



Diapositive 52.

Voilà maintenant un des premiers pays du Moyen-Orient, en l'occurrence l'Iran.

Vous voyez ici quelques marches d'escalier. Vous voyez que les réserves de ce pays, qui sont pourtant exploitées depuis des dizaines d'années, ne font que croître et embellir. Donc, c'est quand même génial ce truc-là! Harry Potter ne ferait pas mieux!

Vous avez du pétrole sous terre. Vous en faites sortir une partie. On vous dit :

- « Combien il te reste à la fin de l'année?
- Plus!
- Ah, et à la fin de l'année prochaine?
- Plus!
- Ah bon, et à la fin de l'année prochaine?
- Encore plus! »

### 38. SENSIBILITÉ DES RÉSERVES À L'ACTIVITÉ DES SHADOKS

Alors, vous pourriez vous dire : « Est-ce qu'il y a eu des découvertes ? » Et la réponse : « Non. » Les découvertes majeures dans ce pays sont toutes très anciennes.

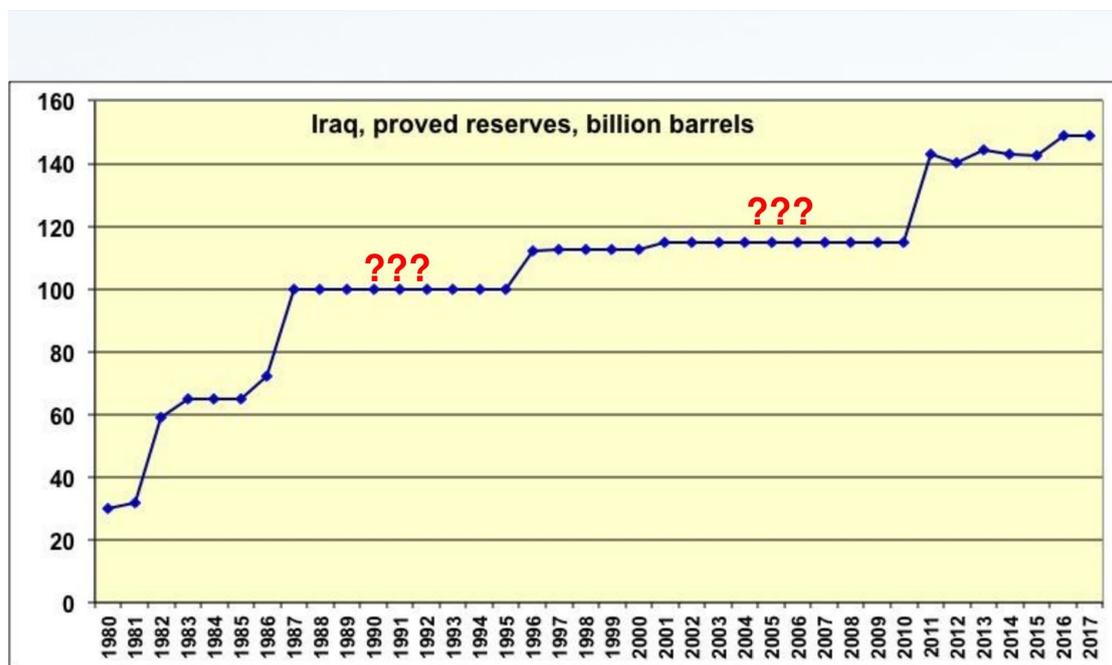
Qu'est-ce qui s'est passé cette année-là ? Il s'est passé qu'à cette époque l'OPEP existe déjà, et vous avez ce qu'on appelle le contre-choc pétrolier. Donc vous vous rappelez, dans les années 70, le prix du baril explose. Dans les années, 80, il se casse la gueule. Le prix du baril se cassant la figure, les recettes à l'exportation des pays pétroliers se cassent la figure aussi. Un jour, on avait demandé au ministre du pétrole d'Arabie Saoudite quel était le bon prix du baril. Et il avait répondu : « C'est le prix qui équilibre le budget de l'Arabie Saoudite. » Ce n'est pas une blague !

Dans ces pays, les recettes à l'exportation liées au pétrole constituent une part dominante, voire massive, des recettes budgétaires. Donc, vous avez le contre-choc et le prix du baril qui est divisé par 3. À ce moment, vous avez donc vos recettes budgétaires qui se sont divisées – enfin les recettes à l'exportation – sont divisées par trois.

À ce moment, vous avez un truc qui marche très bien pour que ça augmente. Vous dites : « Ah ! En fait, j'ai plus de réserves que ce que j'avais dit ! » Et comme les quotas de production sont au prorata des réserves, instantanément vous vous retrouvez avec le droit de produire plus, et donc, de gagner plus – comme aurait dit un président passé – et c'est exactement ce que fait l'Iran à ce moment-là. Donc : « Crac ! J'augmente mes réserves. »

Vous voyez : quelle que soit la quantité de pétrole qui sort de terre, de toute façon c'est toujours la même chose.

### 38. SENSIBILITÉ DES RÉSERVES À L'ACTIVITÉ DES SHADOKS



Evolution des réserves prouvées en Irak. Source BP Statistical Review, 2018

Diapositive 53.

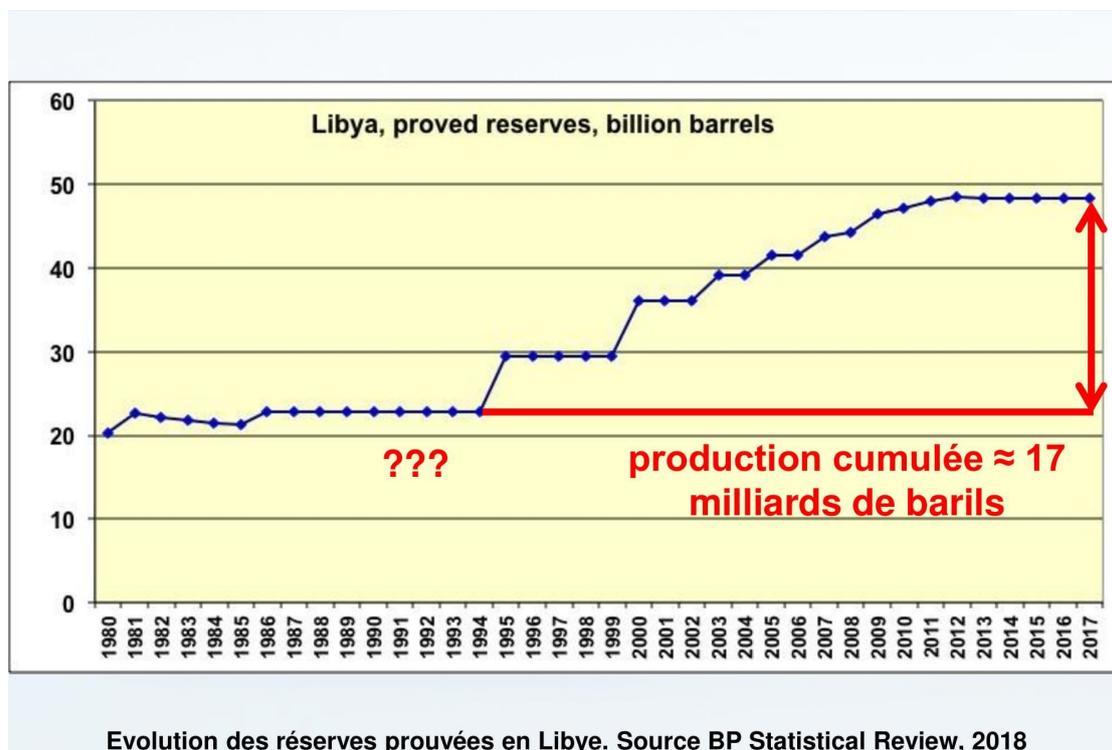
En voilà un autre. C'est pareil.

Alors, même histoire, même punition. Au même moment, il fait exactement la même chose. Et puis après, vous voyez, ce sont des trucs qui sont totalement « flat », pendant des années et des années.

Donc si on croit la manière dont on définit les réserves, ça veut dire que, dans ces pays-là, ces pays-là disent : « La manière dont j'ai réévalué mes réserves avec mes découvertes et mes réévaluations, c'est très exactement la quantité de pétrole qui est sortie de mes champs l'année dernière. »

Alors, une année, je veux bien, mais enfin six ou sept années de suite, ça commence à devenir plus bizarre.

### 38. SENSIBILITÉ DES RÉSERVES À L'ACTIVITÉ DES SHADOKS



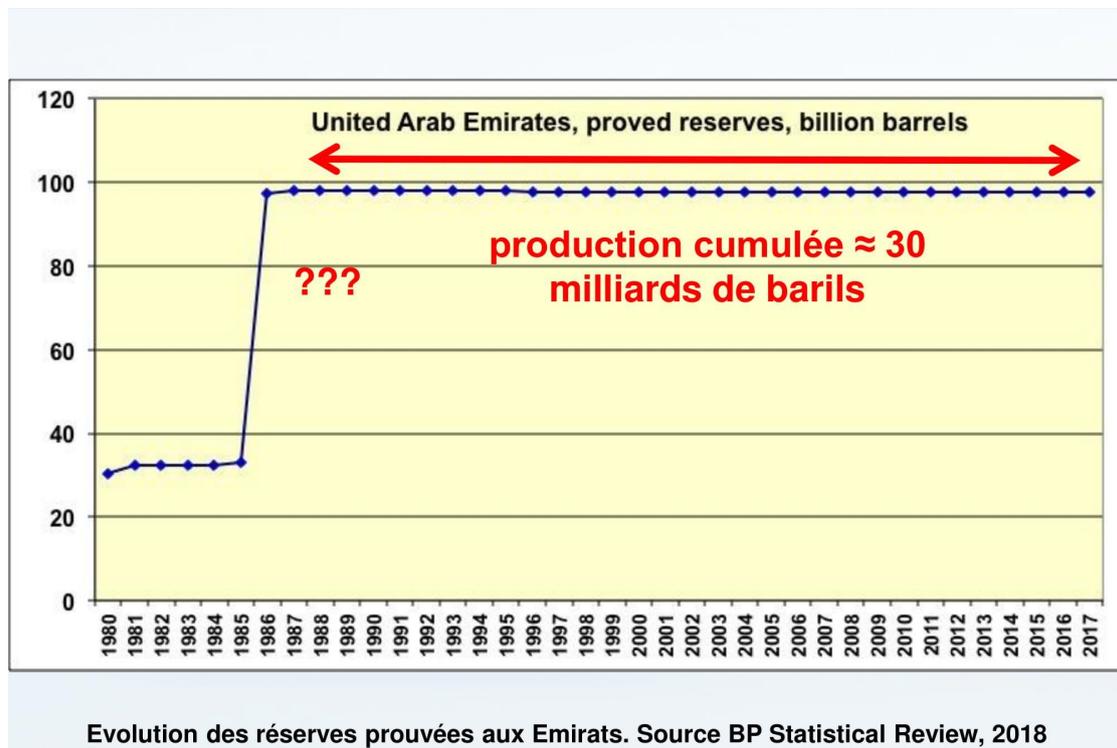
Diapositive 54.

Après, voici la Libye. Alors voilà, c'est exactement pareil. Ici, c'est complètement « flat ».

Et alors, surtout, regardez : vous voyez, la totalité des réserves atteint aujourd'hui 50 milliards de barils, alors, que là, on était à 20, et sachant que, dans l'intervalle, on en a fait sortir 17 et qu'il n'y a pas eu de découverte majeure dans le pays.

Est-ce que ce truc-là c'est du vent? Dit autrement, est-ce que c'est du flan politique total? (Et, par ailleurs, la production de la Libye aujourd'hui est basse, même très basse. Je ne sais plus si je l'ai dans les graphiques derrière.) Ou alors, est-ce que ça vaut quelque chose?

### 38. SENSIBILITÉ DES RÉSERVES À L'ACTIVITÉ DES SHADOKS



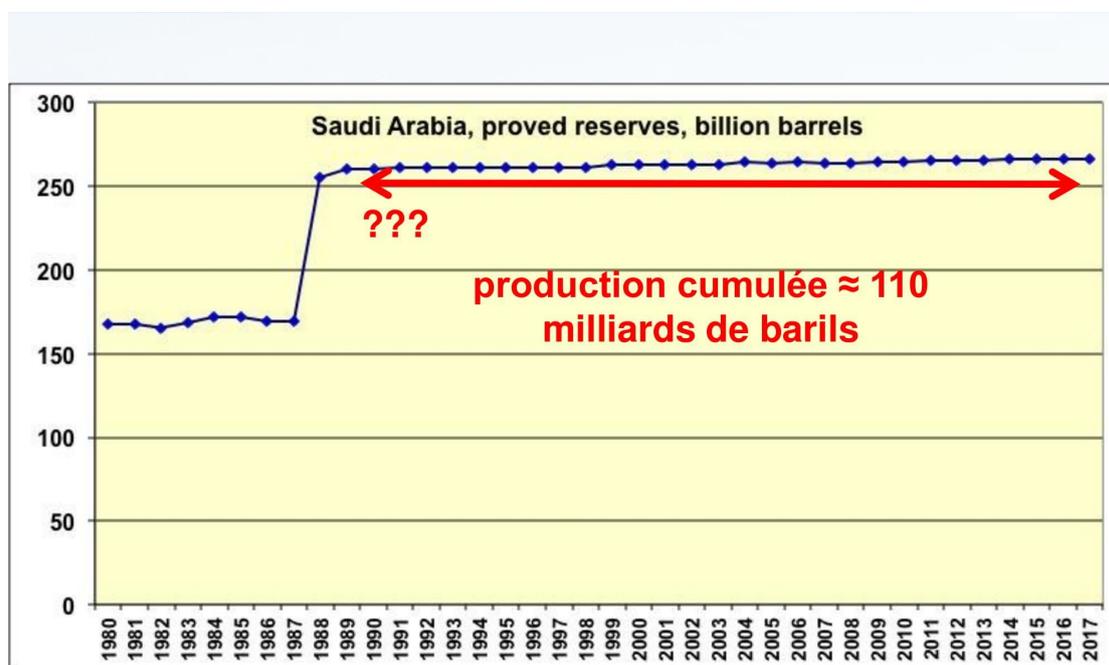
Diapositive 55.

Et puis, alors là, on commence à arriver dans le grandiose. Ça ce sont les Émirats Arabes Unis.

Alors, vous voyez : effet du contre-choc pétrolier. Et là ça reste stable, vous voyez. Donc on est resté stable à 100 milliards de barils. Alors que, dans le même temps, on en a fait sortir 30 de terre, et qu'il n'y a pas eu de découverte majeure.

Qu'est-ce que ça vaut un truc comme ça ?

### 38. SENSIBILITÉ DES RÉSERVES À L'ACTIVITÉ DES SHADOKS



Evolution des réserves prouvées en Arabie Saoudite. Source BP Statistical Review, 2018

Diapositive 56.

Même motif, même punition : l'Arabie Saoudite. Et, vous voyez, ils sont à 250, constants, alors que, dans l'intervalle, ils en ont fait sortir 110.

Alors qu'est-ce que je suis en train de vous dire? Je suis en train de vous dire qu'en ce qui concerne les pays du Moyen-Orient, à part, éventuellement, le patron de la compagnie pétrolière – et encore, ce n'est pas sûr parce que ce sont ses ingénieurs-terrain qui ont l'information primaire : c'est le mec qui se balade sur le terrain qui sait combien il reste de pétrole puits par puits – donc à part le patron de la compagnie pétrolière – et encore, ce n'est pas sûr – je pense qu'à peu près personne ne sait ce qu'il reste exactement.

Vous avez un ancien « numéro deux » de la compagnie nationale saoudienne qui a dit un jour, dans un colloque, un truc qui est totalement passé sous les radars dans la grande presse. Il a dit : « Moi je pense qu'il y a 300 milliards de barils, au Moyen-Orient, qui n'existent pas (dans les chiffres qui sont publiés). » C'est-à-dire, en gros, la totalité des réserves saoudiennes. Il dit : « Moi je pense que ça n'existe pas. »

### 38. SENSIBILITÉ DES RÉSERVES À L'ACTIVITÉ DES SHADOKS

\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« Comment cela se fait-il qu'il n'y ait pas d'organisation internationale qui régle tout ça ? »

Parce que, de quel droit, depuis le Traité de Westphalie qui rend les états souverains, vous acceptez que quelqu'un vienne mettre son nez dans vos affaires ? Si vous n'acceptez pas, vous n'acceptez pas. De même que vous n'avez strictement aucun opérateur international qui vient mettre son nez dans le sous-sol français en disant : « Je vais dire mieux que le BRGM [Bureau de Recherches Géologiques et Minières] ce qu'il y a dans le sous-sol français ! » Il n'y a pas ça.

\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« Vous avez mentionné tout à l'heure que certains pays publient l'état de leurs réserves car ils sont cotés en bourse ? »

Non, les entités qui publient leurs réserves parce qu'elles sont cotées en bourse, à l'évidence, ce ne sont pas les pays. Les entités qui publient leurs réserves parce qu'elles sont cotées en bourse, ce sont les opérateurs pétroliers internationaux. Donc Exxon, Mobil, Shell, etc.

\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« Et du coup c'est de là que vous déduisez les productions des pays ? »

Les réserves que je vous rapporte là sont soit celles publiées par les pays quand ils sont membres de l'OPEP – donc par exemple l'Arabie Saoudite, soit celles qui sont l'agrégat des réserves prouvées déclarées par les opérateurs internationaux présents dans les pays, quand il s'agit de pays ouverts « normaux ».

Parce que vous avez toujours un opérateur international qui traîne dans le coin, qui participe à l'exploitation du champ. Souvent les champs sont opérés par plusieurs opérateurs qui s'unissent entre eux. Et donc, à ce moment, il y en a au moins un qui est obligé de dire : « Dans tel champ il y a tant de réserves, et du reste, ma part étant de 12%, dans mes comptes je compte tant. » Et à ce moment, les réserves des pays sont obtenues par agrégat des réserves publiées par les opérateurs du pays.

\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« Pourquoi n'est-on pas alors capable de retracer les réserves à partir de tous ce qui a été déclarés par les opérateurs individuellement ? »

Parce que vous avez plein de pays dans lesquels les opérateurs n'ont qu'une partie de l'exploitation. Par exemple, en Arabie Saoudite, l'opérateur qui contrôle l'exploitation pétrolière du pays c'est Saudi Aramco. Saudi Aramco n'a à peu près aucun gisement partagé avec un opérateur international. Donc, ce système ne marche que dans les pays dans lesquels la totalité ou la quasi-totalité des

### 38. SENSIBILITÉ DES RÉSERVES À L'ACTIVITÉ DES SHADOKS

gisements sont opérés ou partagés avec un opérateur international. Et ça ne concerne pas, typiquement, les pays du Golfe, pour l'essentiel.

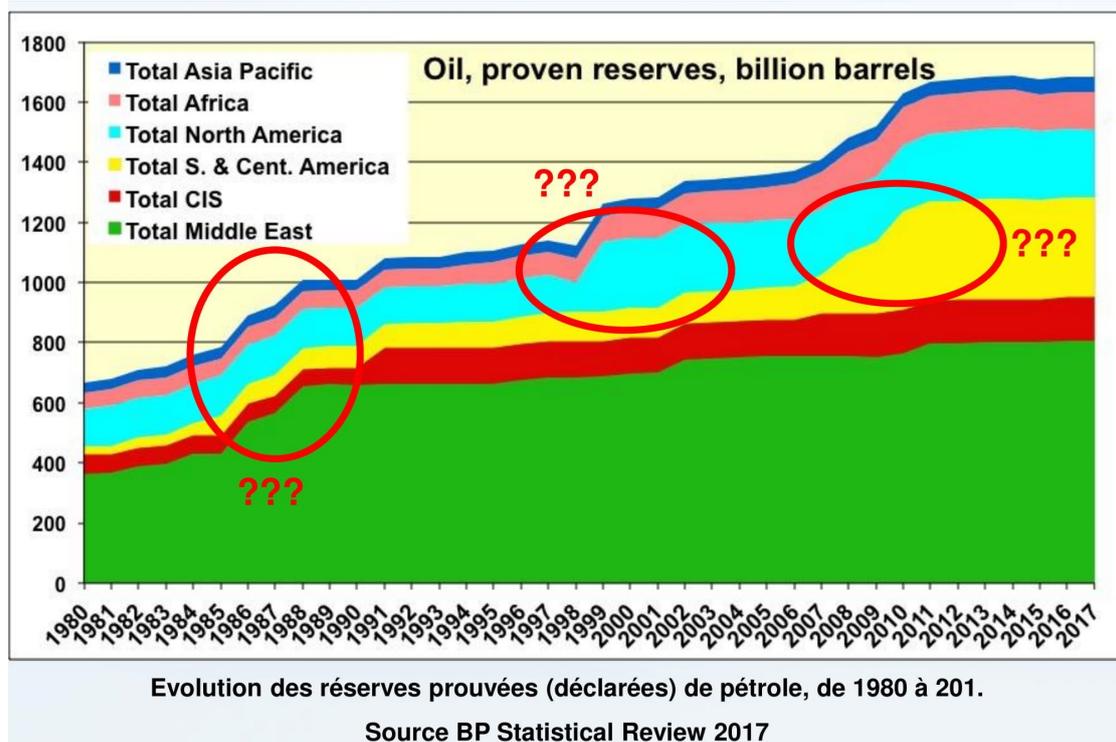
\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« Les quotas, qui est ce qui les fixe ? »

L'OPEP. Donc il y a un jeu qui est le suivant. Les gens se réunissent, et puis ils disent : « Toi, tant. Toi, tant. Toi, tant. Toi, tant. » Alors, en fait, c'est : « Toi, tant : au prorata des réserves prouvées. » Donc qui fixe les quotas ? Les pays eux-mêmes, une fois qu'ils ont déclaré des réserves prouvées. \*\*\* Rires \*\*\* C'est probablement la raison, soit dit en passant, pour laquelle ce truc-là ne baisse pas. Parce que baisser ses réserves prouvées, c'est automatiquement baisser sa part revendiquée dans la production de l'ensemble.

La manière dont ça se passe, c'est que l'OPEP fixe un quota global. Donc l'OPEP dit : « Je vais alimenter le marché à hauteur de 30 millions de barils par jour. » Et une fois que l'OPEP a dit : « C'est 30 millions pour la totalité. », à ce moment entre en jeu la répartition au prorata des réserves prouvées. C'est dans ce sens-là que ça se passe. Donc, d'abord collégalement, l'OPEP dit : « Ça sera 30, 31, 29, 28, 42. » Et ensuite ils se répartissent ça au sein des pays avec les réserves de chacun. C'est dans ce sens-là que ça marche.

### 39. Et en plus les réserves prouvées sont un poker menteur...



Diapositive 57.

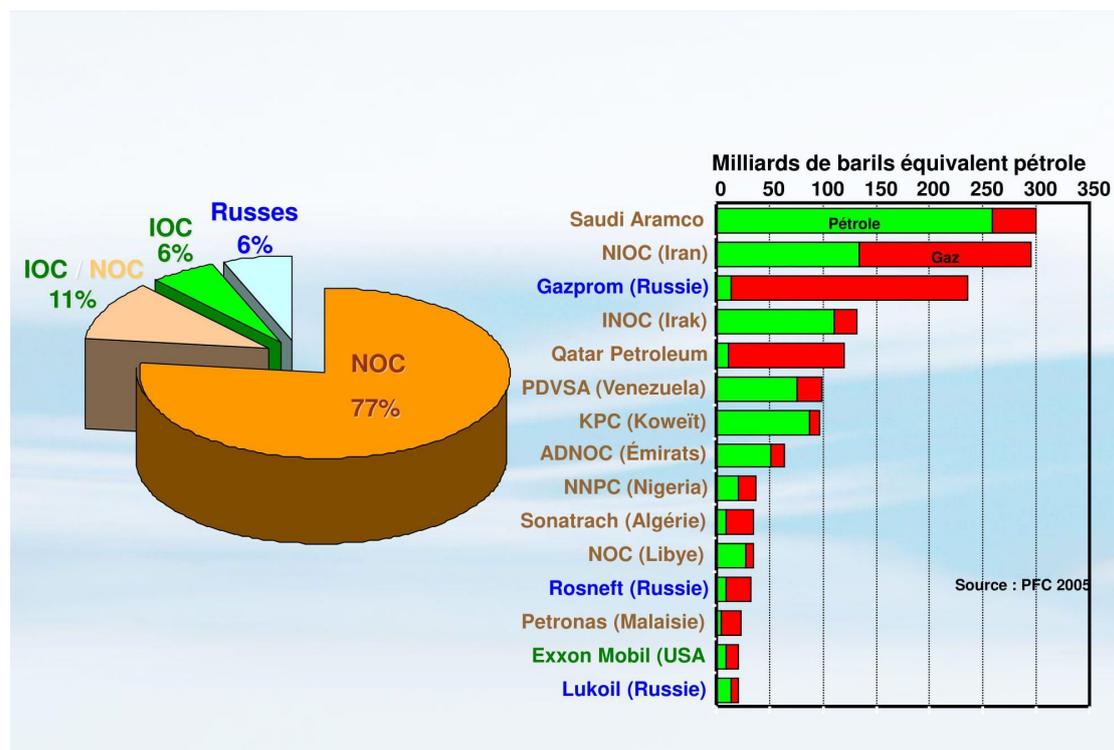
Alors, une fois que j'ai additionné les réserves inventoriées au titre de chaque pays, voilà ce que ça donne.

C'est quand même merveilleux : depuis qu'on a commencé à faire sortir du pétrole de terre, jamais les réserves prouvées n'ont baissé. C'est quand même un truc merveilleux.

Et vous confronterez ça après à ce que je vais vous montrer sur un « statement », enfin une déclaration, de l'Agence Internationale de l'Énergie qui date d'il y a quelques mois, et vous verrez que ça pose quand même question.

Donc, ça, c'est le contrechoc et le Moyen-Orient qui augmentent fortement. Ça, c'est la découverte des sables bitumineux au Canada, mais c'est la grosse baignoire avec un tout petit robinet dont je parlais tout à l'heure. Ça, c'est la découverte des extra-lourds au Vénézuéla. C'est une autre grosse baignoire avec un tout petit robinet.

## 40. Les réserves sont l'affaire du ministre plus que du PDG



Diapositive 58.

Quand vous regardez les réserves estimées , – donc là, c'est des experts du secteur qui disent : « Voilà ce qui se vend à peu près, ou ce que je reconstitue, etc. » – vous voyez que la première compagnie internationale qui figure dans ce classement c'est Exxon, qui est là. Toutes les autres, ce sont des compagnies nationales, auxquelles on a attribué les réserves de leur pays.

Mais dit autrement, vous voyez que *l'essentiel des réserves prouvées détenues dans le monde sont des réserves prouvées détenues par des opérateurs nationaux de pays dans lesquels il n'y a pas de libre accès aux champs pétroliers*. Pas juste avec de l'argent en tout cas. Et les réserves qui sont déclarées par les opérateurs pétroliers cotés en bourse, en fait, c'est une toute petite partie. Là, « International Oil Company », c'est une toute petite partie de ce qui est détenu dans le monde.

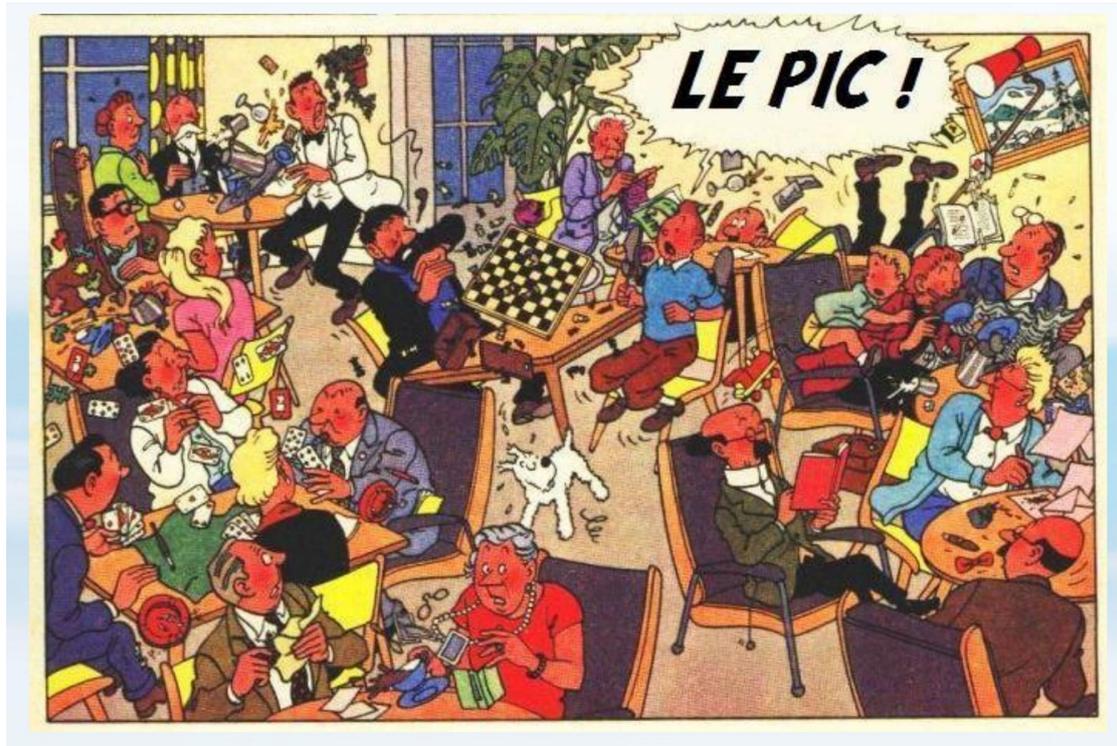
#### 40. LES RÉSERVES SONT L'AFFAIRE DU MINISTRE PLUS QUE DU PDG

\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« Est ce que ce qui est présenté ici ce sont les réserves prouvées, ou ce qui est effectivement extrait ? »

Non. Ce sont les réserves prouvées, au sens où on dit qu'elles doivent être comptées. Mais comme je le disais tout à l'heure, ça ne veut pas dire que ça va sortir effectivement. Ce sont des gens qui disent qu'ils ont respecté les règles pour établir les réserves prouvées. Mais comme, pour revenir à la question qui a été posée tout à l'heure, il n'y a pas de vérification par des tiers assermentés, venant d'un autre pays, et mettant leur nez dans le truc en disant : « Oui, je suis d'accord. » ...

## 41. Les maths, c'est décidément détestable...



Diapositive 59.

Alors, les réserves prouvées n'arrêtent pas d'augmenter. Maintenant question : est-ce que ça veut dire que la production ne va pas arrêter d'augmenter ?

Alors là, on peut dire non. On est sûr que non, grâce à des maths que vous avez apprises quand vous étiez jeunes. Je ne me rappelle plus : on m'a dit que c'était le Théorème de Rolle, mais je ne sais plus si c'est exactement ça. Celui-là, un jour il faudrait que je le regarde. Je sais que ce théorème peut être démontré en tant que tel.

Vous avez donc, sous terre, du pétrole qui met n'importe quoi entre quelques dizaines de millions d'années et quelques centaines de millions d'années à se former. Soit dit en passant, ce que je vais vous dire à partir de maintenant s'applique également aux minerais de cuivre, au tantale, au vanadium, au tungstène, au molybdène, au chrome, et à l'indium. Dit autrement, dès que vous avez sous terre une ressource dont le stock de départ est donné une fois pour toutes – ce que je vais considérer, en première approximation, être le cas du pétrole à l'échelle des temps historiques. Dit autrement, d'ici à ce que la civilisation in-

#### 41. LES MATHS, C'EST DÉCIDÉMENT DÉTESTABLE...

dustrielle des Hommes s'éteigne – on va dire que ça va prendre n'importe quoi entre quelques décennies et quelques milliers d'années – le stock de pétrole ne se ré-évaluera pas de manière significative. Donc je considère que j'ai un inventaire de départ, en ce qui concerne le pétrole sous terre, qui est donné une fois pour toutes. Une quantité donnée une fois pour toutes.

Vous êtes d'accord avec moi que, si la quantité de départ est donnée une fois pour toutes, je ne peux pas avoir une extraction au cours du temps qui soit indéfiniment croissante. Ça, ça me donne une intégrale qui est infinie. Or, si mon stock de départ est donné une fois pour toutes, ça veut dire que l'intégrale de ma production est nécessairement finie. En fait, elle est bornée, et sa borne supérieure, c'est le stock extractible de départ. On est d'accord ?

Toujours très simple : on est d'accord qu'en fait, on ne peut même pas avoir une extraction qui soit indéfiniment constante. Donc, on ne peut même pas rester indéfiniment au même niveau. Même ça, ce n'est pas possible.

En fait, le théorème dont je ne me rappelle plus exactement le nom – si tant est qu'il se démontre comme tel – c'est que quand vous avez une fonction qui est positive et intégrable entre moins l'infini et plus l'infini – dit autrement, vous savez qu'elle a une valeur finie – vous pouvez démontrer que sa valeur moyenne sur n'importe quel intervalle non nul, est nulle à moins l'infini, nulle à plus l'infini, et passe par un maximum absolu entre les deux. C'est assez simple, en fait, à démontrer. Cela se démontre très bien par l'absurde.

Alors, la valeur moyenne de ma production sur un intervalle non nul, c'est, par exemple, ma production annuelle. Ma production annuelle, c'est déjà une intégrale. Donc c'est déjà une moyenne. Une moyenne, c'est une intégrale divisée par un horizon de temps. Donc si c'est sur une année, c'est une moyenne.

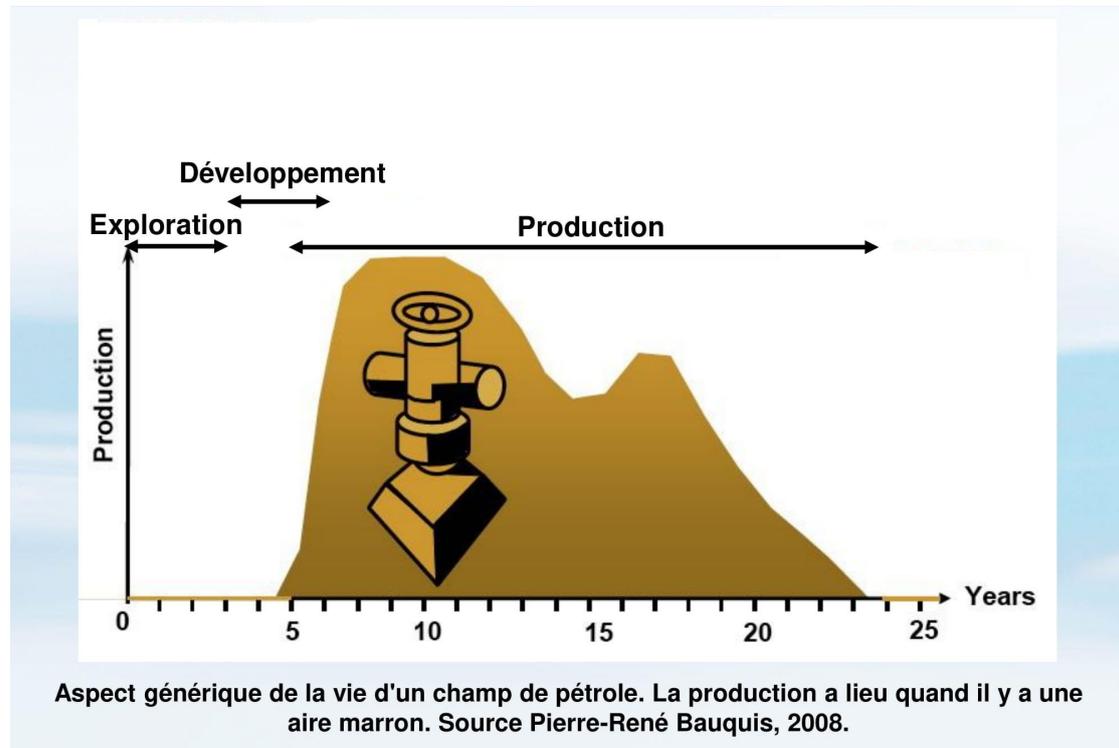
Donc, la production annuelle de pétrole étant une fonction positive et intégrable, je peux faire un cumul et ça ne peut aller que dans un seul sens : ça ne peut que sortir de sous terre pour aller vers la surface. Donc, c'est positif et intégrable. Donc, la production annuelle de pétrole est nulle à moins l'infini, ça se démontre assez facilement, sera nulle à plus l'infini, et *passera par un maximum absolu entre les deux*.

Dit autrement, je viens de vous démontrer que, en ce qui concerne la production de pétrole, comme de gaz, comme de charbon, comme de minerai de cuivre, comme de minerai de fer, comme de diamant, comme d'or, comme d'argent, comme de gallium, comme d'indium, comme de bauxite, etc. vous aurez ce qu'on appelle *un pic*. C'est obligatoire. Ce n'est pas optionnel. Ce n'est pas quelque chose qui tient du malthusianisme. C'est juste un théorème de maths appliqué à quelque chose qui n'est pas renouvelable.

#### *41. LES MATHS, C'EST DÉCIDÉMENT DÉTESTABLE...*

Alors, si le minerai de cuivre était le fruit d'une transmutation à large échelle qui apparaisse, qui avait lieu dans les entrailles de la terre, je ne vous tiendrais pas ce discours. Mais, en l'occurrence, pour toutes les ressources qui ne se renouvellent pas dans les entrailles de la terre, vous aurez un pic.

## 42. Pic systématique!

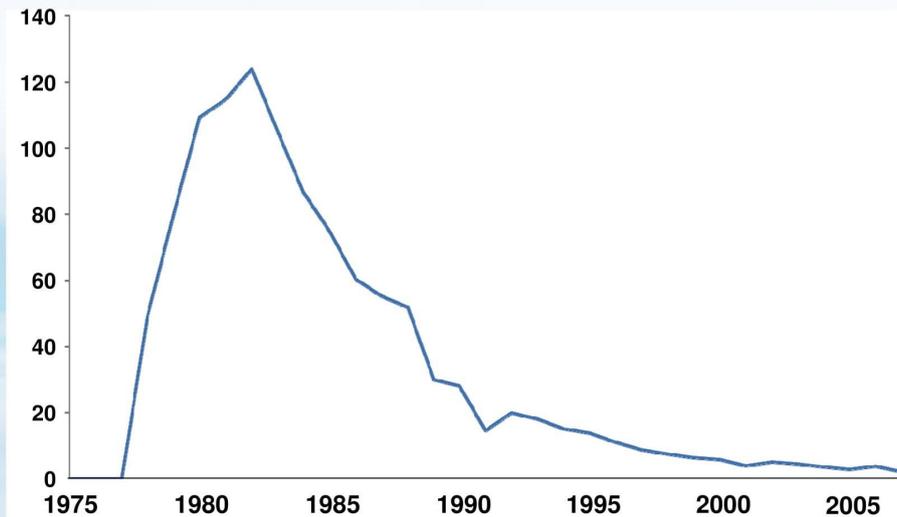


Diapositive 60.

Alors les pétroliers le savent bien puisque, en ce qui concerne un gisement donné, vous avez toujours un pic.

À un moment, le gisement ne produit pas, ne serait-ce que tant qu'il n'a pas été découvert. Puis vous le mettez en production. Puis il se met à produire de plus en plus, passe par un maximum, puis ça décline, et vous avez à la fin un gisement qui est plié.

### 43. Pic pour un champ

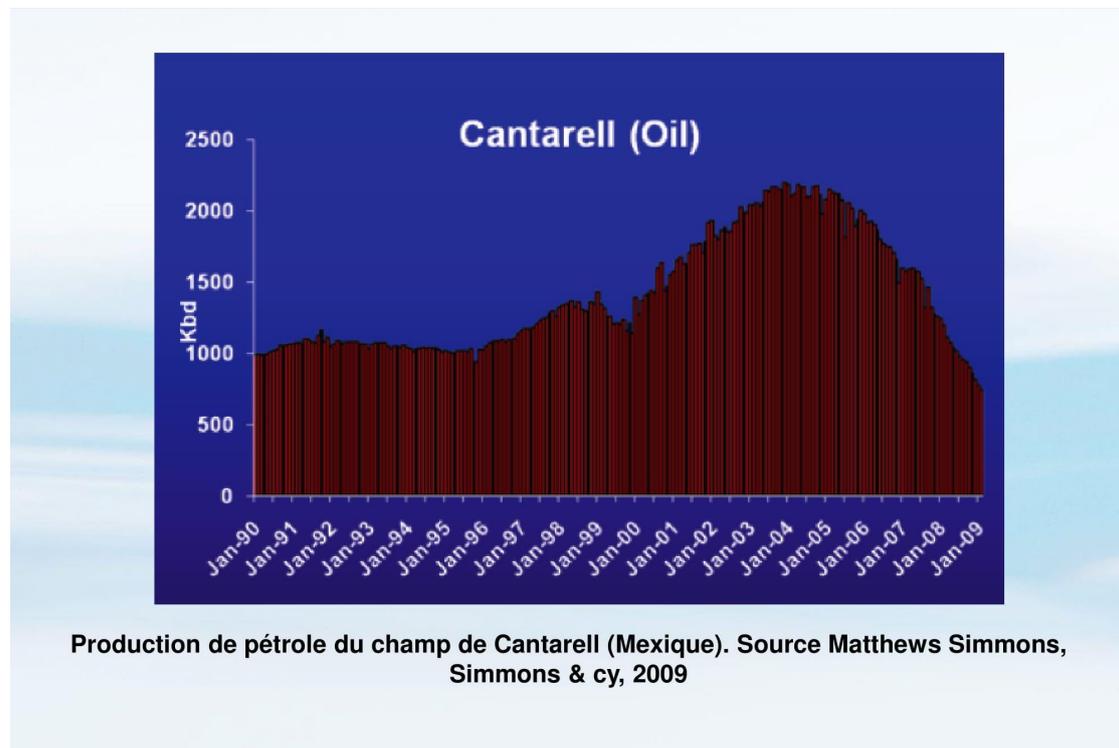


Production du champ de Thistle (Mer du Nord), en milliers de barils par jour.  
Source UK Energy Research Centre

Diapositive 61.

Ça vaut également pour un champ. Un champ est un ensemble de puits. Donc, si vous sommez un ensemble de courbes avec pic, vous vous retrouvez de nouveau avec une courbe avec pic.

## 44. Pic pour un gros champ

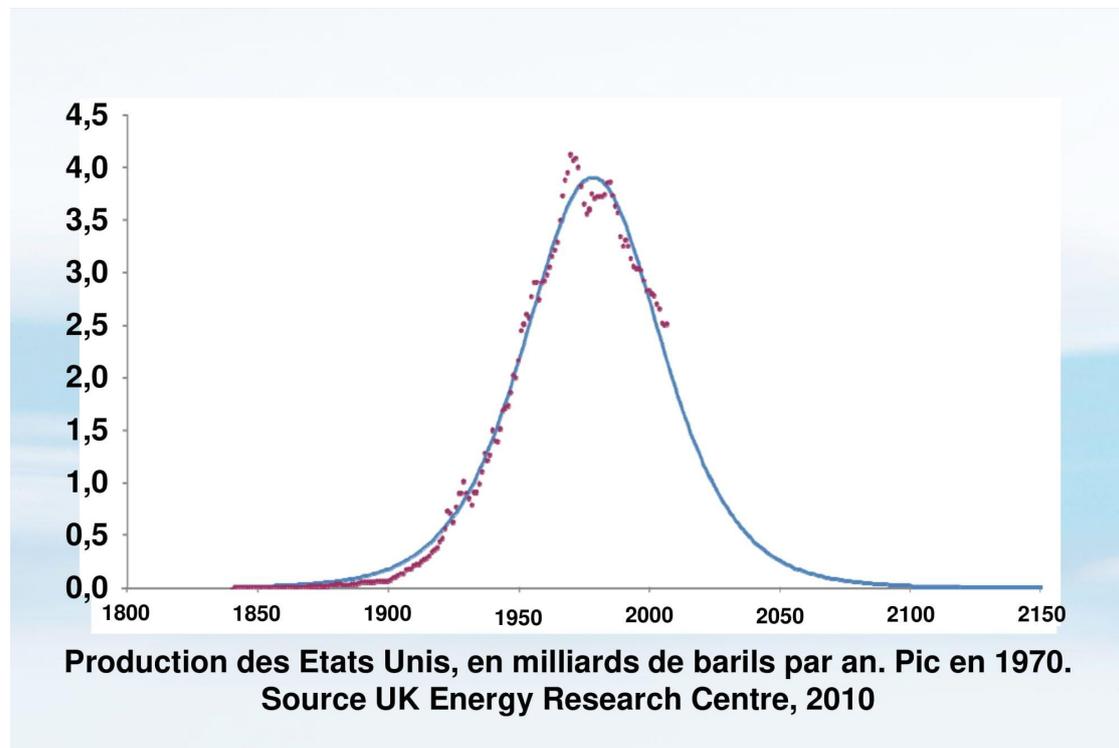


Diapositive 62.

Ça vaut pour un gros champ.

Cantarell, au Mexique, a été, je crois, le dixième plus gros champ jamais découvert au monde. La production du Mexique, on la verra tout à l'heure, a été divisée quasiment par deux depuis que le champ a passé son pic, en 10 ou 15 ans. C'est allé assez vite.

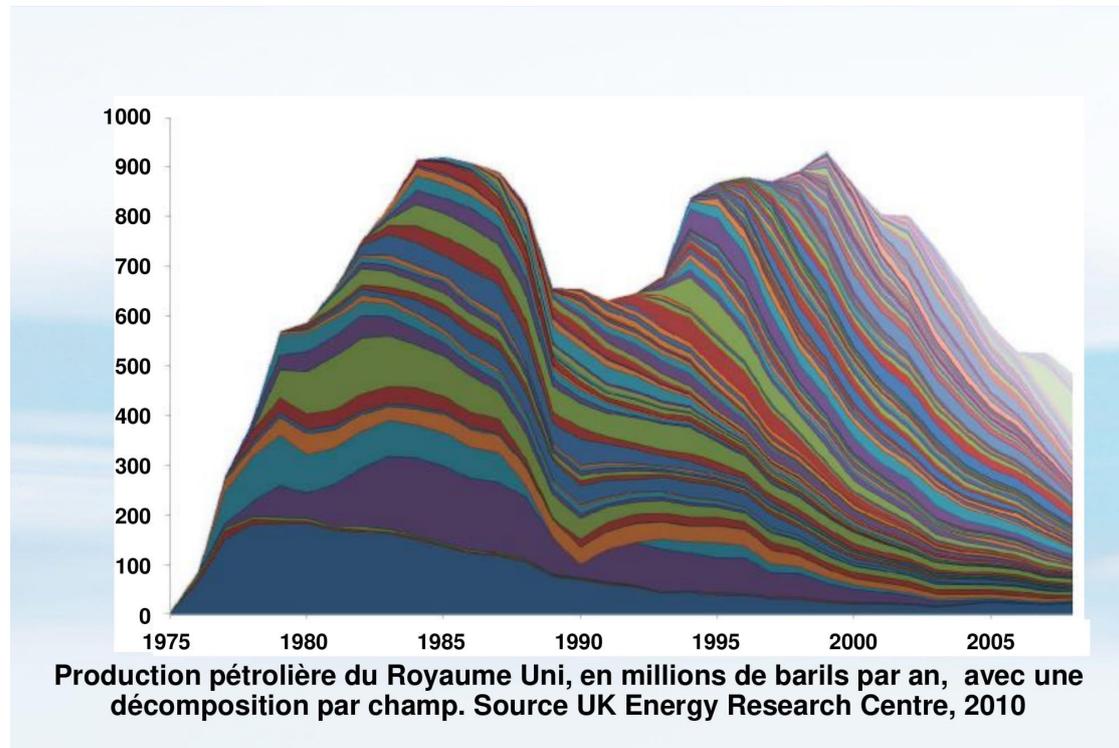
## 45. Pic pour un gros pays



Diapositive 63.

Vous avez ici la production de pétrole conventionnel aux États-Unis qui a piqué en 1970, hors pétrole de roche-mère.

## 46. Un double pic est aussi possible



Diapositive 64.

Ici vous avez un chameau à la place du dromadaire.

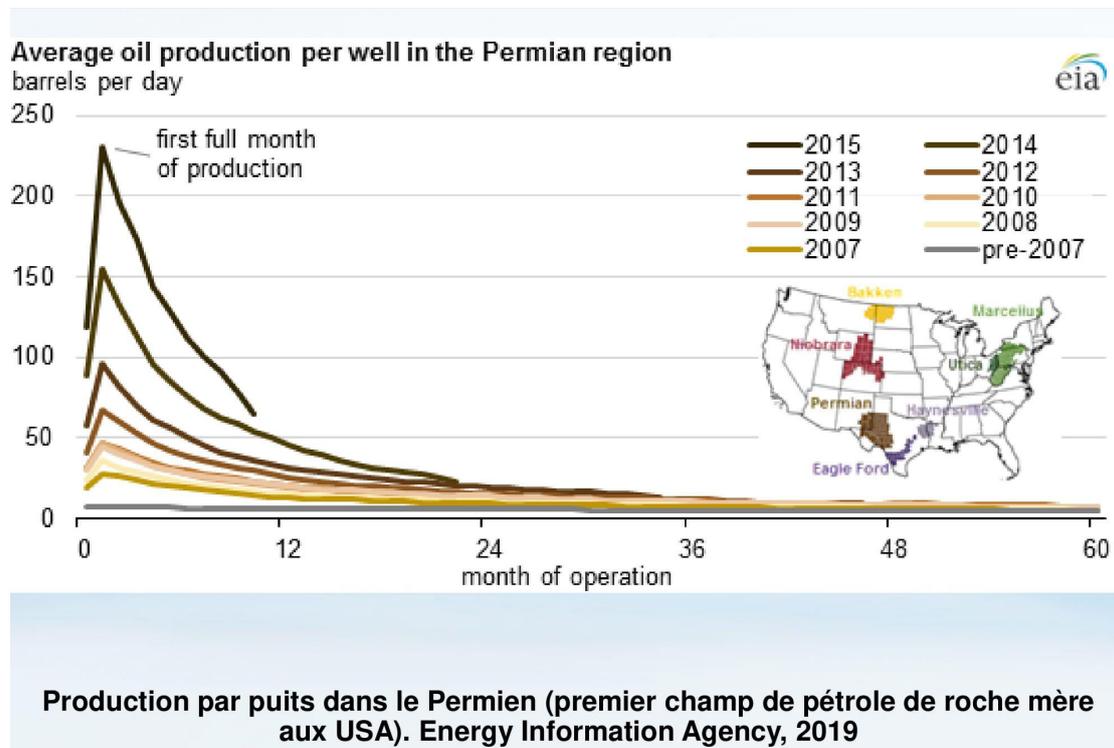
C'est le cas de la Grande-Bretagne, où vous voyez un double pic – qui ne fait pas objection à mon théorème de tout à l'heure. Et vous voyez la production par champ également.

Et vous voyez très bien ici mon processus d'« œuf de Pâques » dont je vous parlais tout à l'heure. Vous voyez que les champs qui produisent le plus, c'est-à-dire les plus gros, sont ceux que vous voyez au début de l'histoire.

Et à la fin vous avez un « croissant », c'est-à-dire plein de petites feuilles séparées par plein de petits interstices. Un millefeuille. Vous voyez qu'on a arrêté de découvrir des gros machins. Là, il y a encore un truc un peu significatif, mais sinon, on a arrêté de découvrir des gros machins.

Donc, vous voyez très bien l'effet « œuf de Pâques » là-dessus.

## 47. Le pic est très rapide pour un puits de shale oil



Diapositive 65.

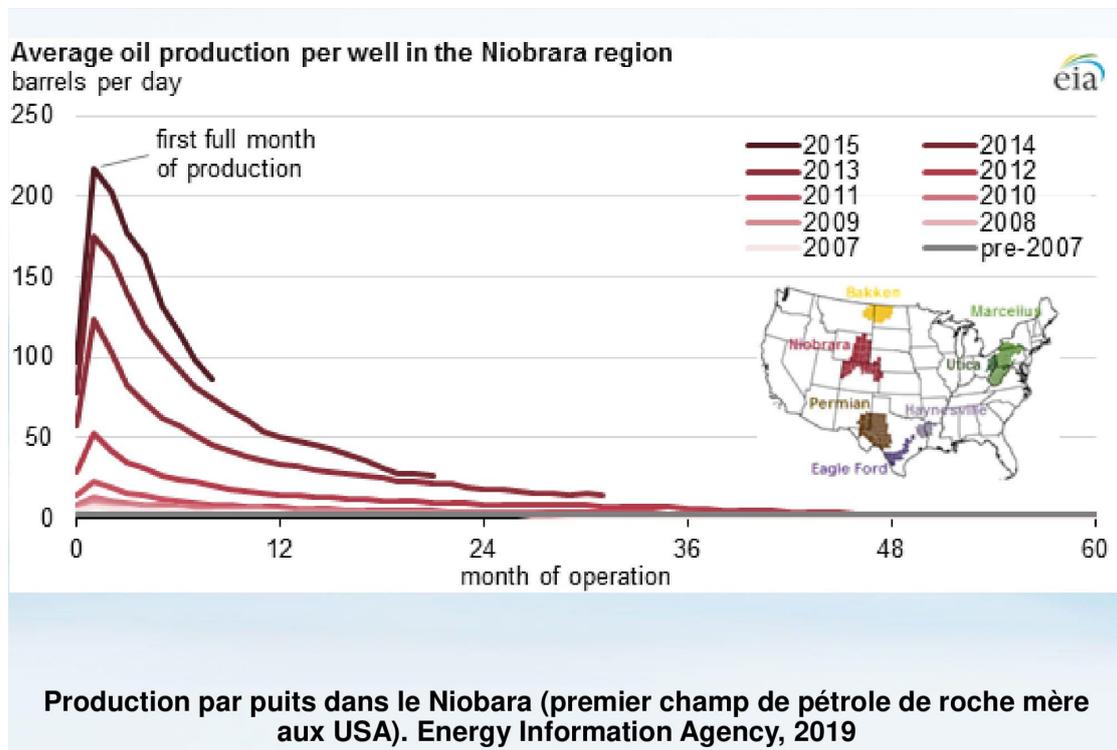
Là, vous avez le profil de production de puits de pétrole de roche-mère aux États-Unis. Celui-là est dans le plus grand bassin actuellement en exploitation aux États-Unis qui s'appelle le « Permien ».

Alors, le Permien, c'est aussi une ère géologique. Et on appelle ce bassin le « Permien » parce que c'est un bassin dans lequel la roche sédimentaire s'est formée au Permien. C'est de là que vient l'essentiel de la production de pétrole de roche-mère actuellement aux États-Unis.

Alors, vous voyez que, après sa mise en production, la production du puits augmente très, très vite. Et au bout de même pas un an, ou au bout d'un an, vous voyez que vous êtes à moins de la moitié du pic, qui est lui-même survenu quelques mois après le début de la mise en production.

Donc ça c'est pour le Permien.

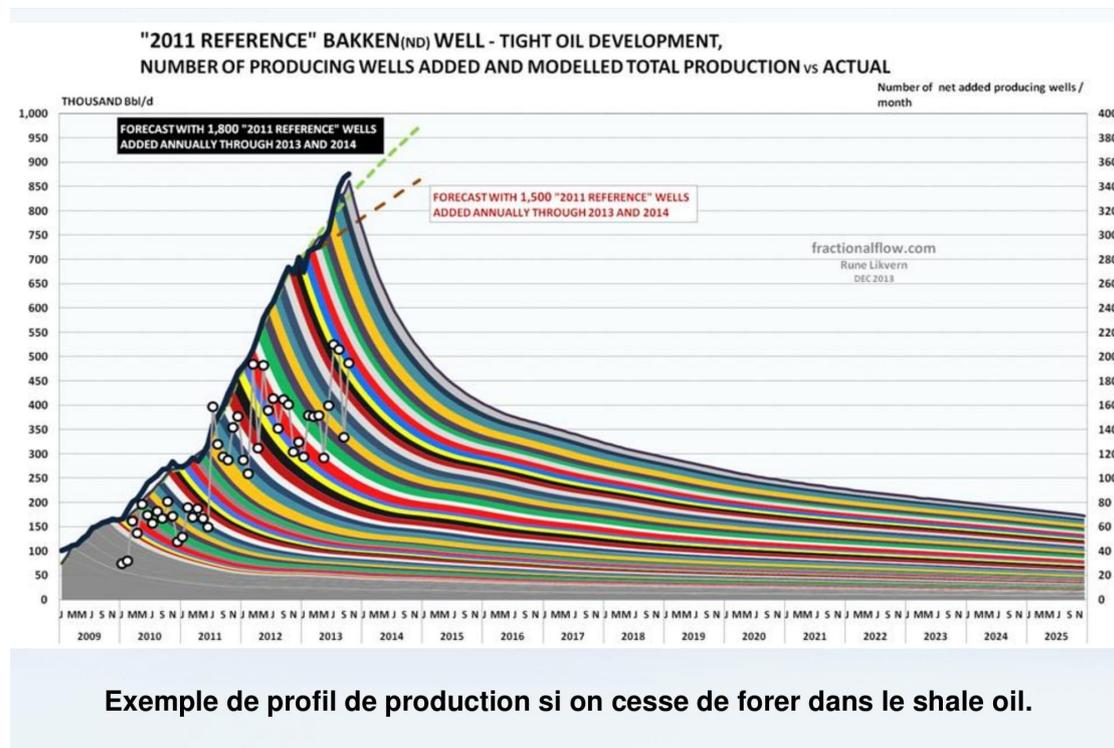
47. LE PIC EST TRÈS RAPIDE POUR UN Puits DE SHALE OIL



Diapositive 66.

Ça, c'est pour un autre bassin qui s'appelle le Niobrara.

## 48. Et donc il faut faire des trous en permanence!

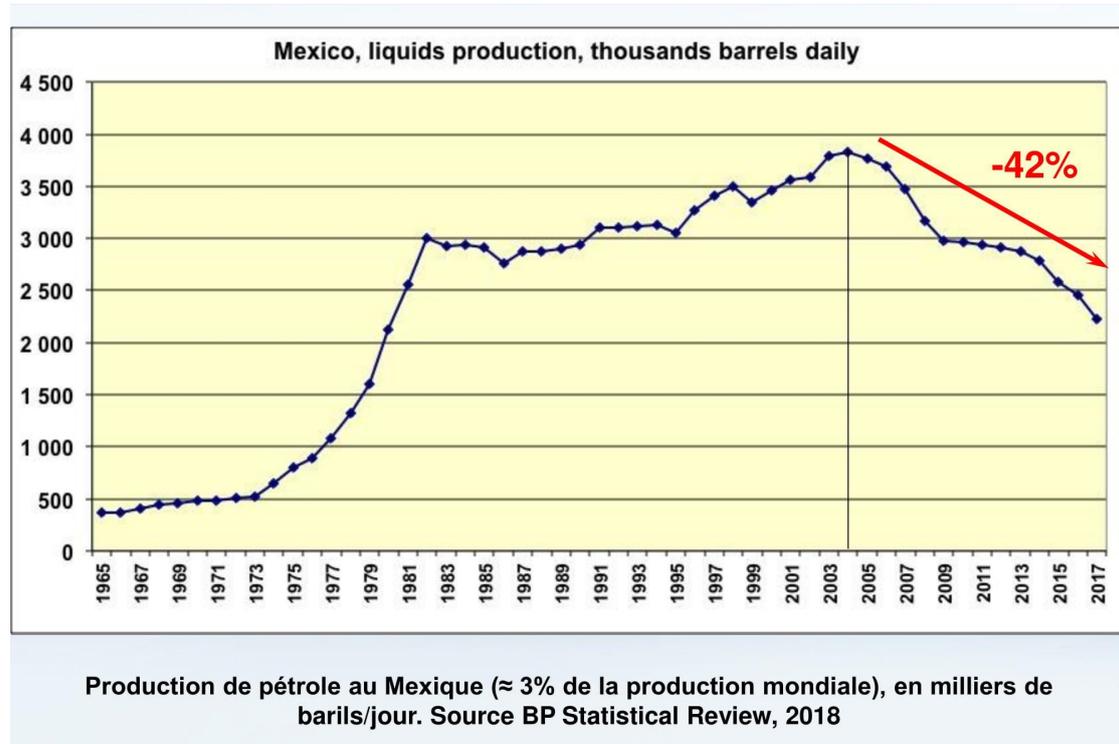


Diapositive 67.

Et là, vous avez l'effet que je vous mentionnais tout à l'heure qui est que, pour avoir une production croissante, il faut rajouter des puits en permanence. Et dès que vous arrêtez de rajouter des puits, crac! votre production se met à décliner très vite.

Alors, vous avez une queue de production qui va durer très longtemps, mais à des niveaux qui sont beaucoup plus bas que le niveau auquel vous avez démarré votre puits.

## 49. Du champ au pays

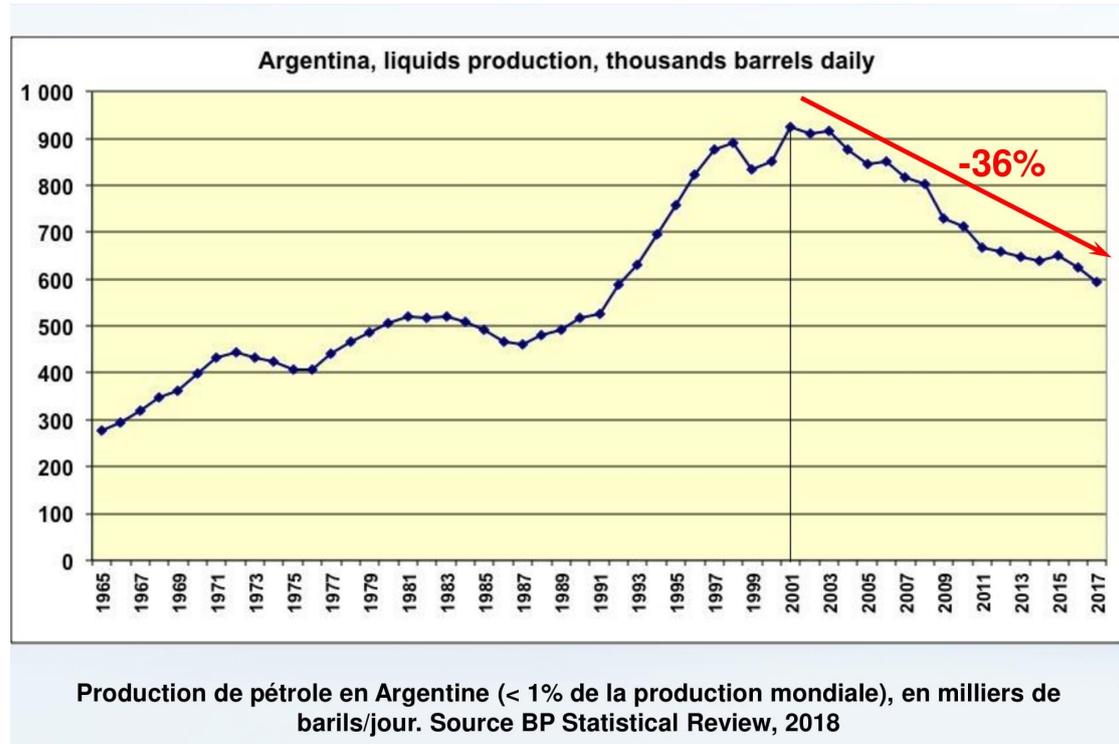


Diapositive 68.

Il y a un certain nombre de pays qui ont passé leur pic. Voilà le Mexique, comme je le disais tout à l'heure, qui a passé son pic voici maintenant une décennie.

Et depuis ça a baissé de 40%.

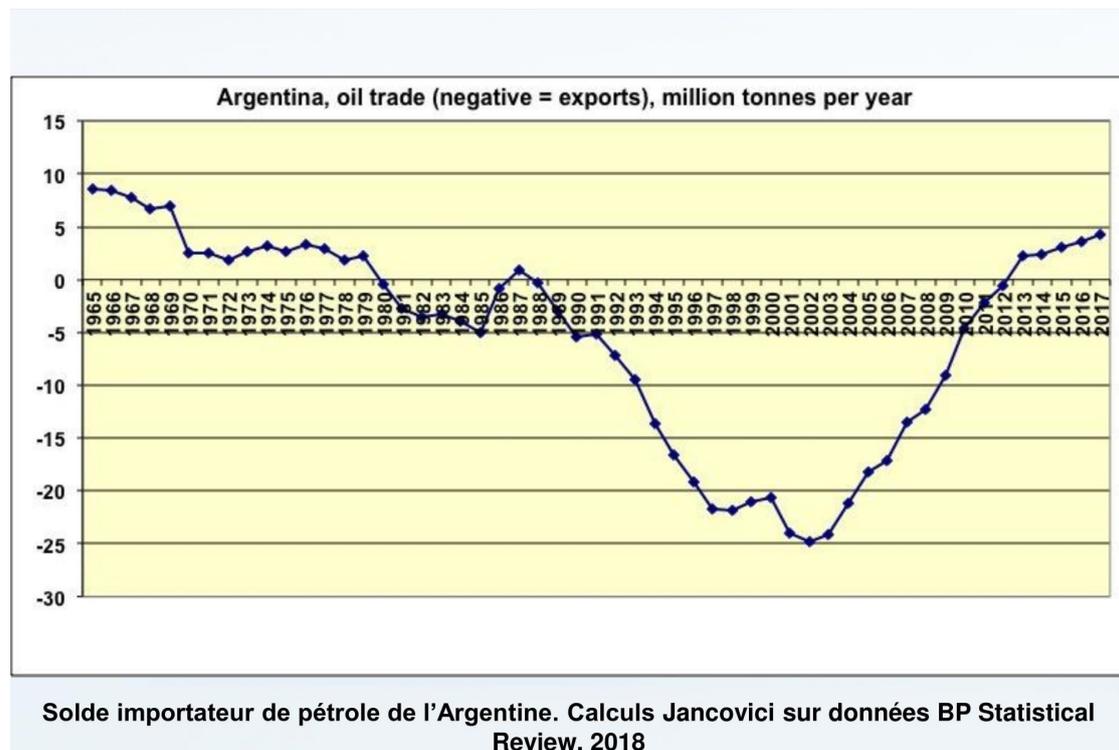
## 50. Stock non renouvelable $\Rightarrow$ pic et pic et...



Diapositive 69.

Ici vous avez l'Argentine, qui a passé son pic il y a une petite vingtaine d'années. Et depuis ça a également baissé de manière significative.

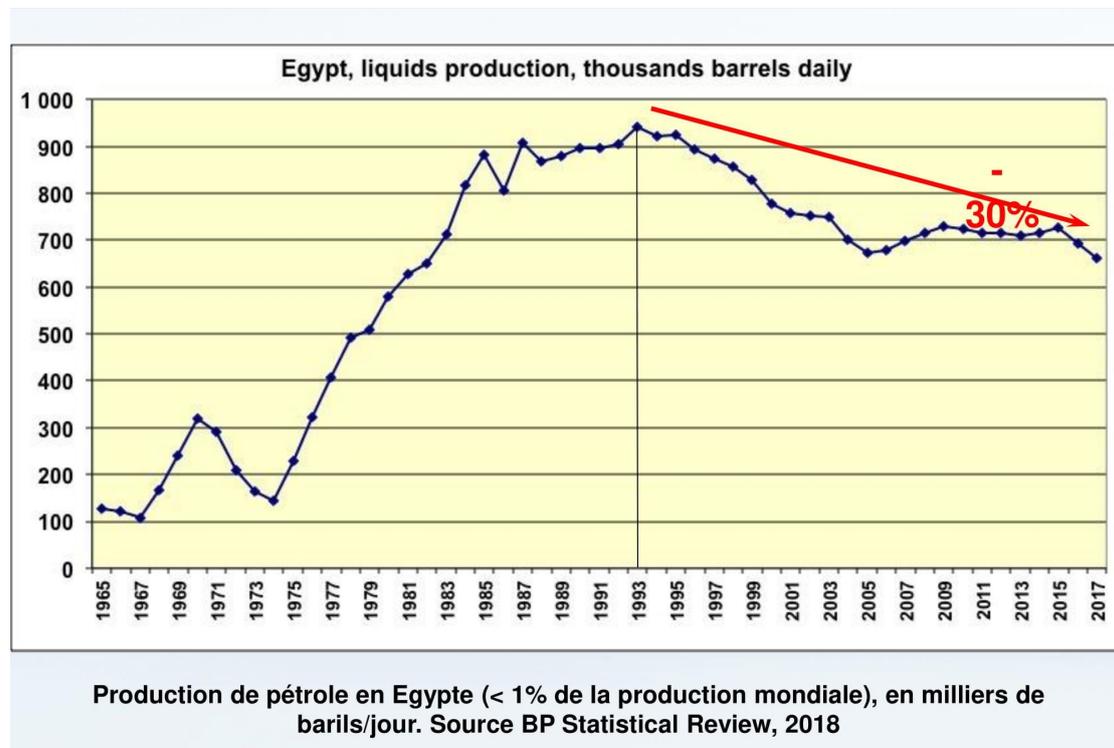
## 51. Comment passer de grosses recettes à de menues dépenses



Diapositive 70.

De ce fait, l'Argentine, qui était importatrice de pétrole, est devenue exportatrice de pétrole, et est de nouveau importatrice de pétrole.

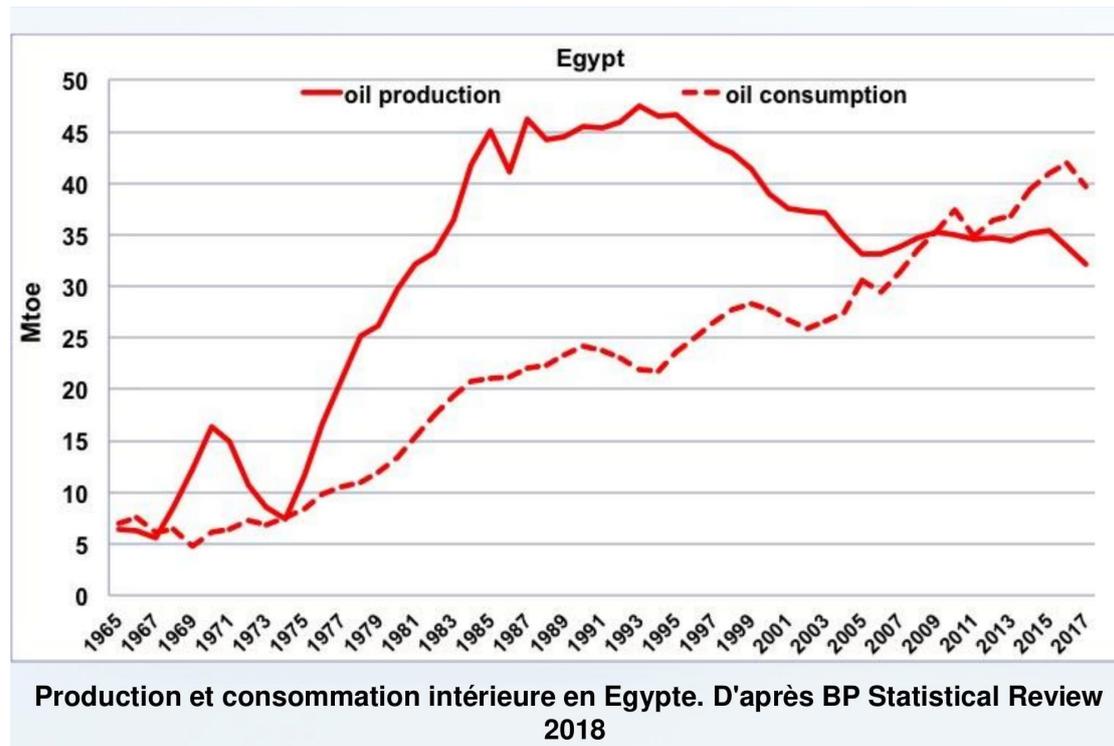
## 52. Le pic, une réalité déjà fréquente



Diapositive 71.

Vous avez ici l'Égypte, pareil, qui a passé son pic depuis longtemps, et depuis ça a baissé.

### 53. Pic de la production... mais pas de la consommation !



Diapositive 72.

Là [Au-dessus], vous avez la production de l'Égypte.

Là [En dessous], vous avez la consommation de l'Égypte.

Au moment où l'Égypte était dans cette phase-là [Hausse de la production], elle a subventionné ses carburants. C'est-à-dire qu'elle a dit aux Égyptiens : « Bin, il y a plein de pétrole qui sort de nos puits, là, on va vous donner le pétrole pour vraiment pas cher, d'accord ? Donc je vais subventionner le carburant. »

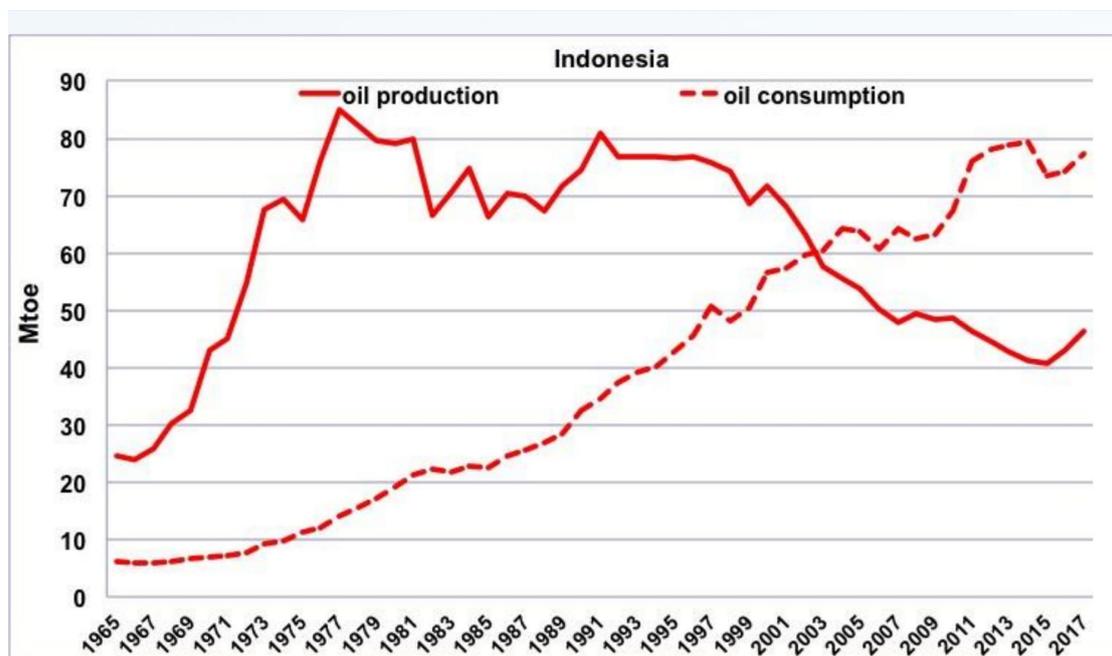
Et puis arrive le moment où la production devient inférieure à la consommation et, à ce moment, est-ce que vous pensez que la subvention aux carburants s'arrête ? La réponse est : non.

### *53. PIC DE LA PRODUCTION... MAIS PAS DE LA CONSOMMATION!*

Mais le drame de l’Egypte – il y a d’autres pays qui ont connu la même histoire – c’est qu’à ce moment, vous vous mettez à subventionner les importations. Donc vous avez un phénomène de déstabilisation de la demande de pétrole sur le marché mondial.

Et pour revenir à la question de tout à l’heure, qui est : « Pourquoi les prix oscillent ? », vous avez là un pays qui participe à la non-correction par les prix de marché de l’insuffisance d’offre. Parce que, comme c’est un pays où la différence entre le prix de marché et un prix fixé à la pompe est payée par l’État, en fait, quand les prix s’envolent c’est mauvais pour les finances de l’État, mais ça ne change pas grand-chose au comportement du consommateur.

### 53. PIC DE LA PRODUCTION... MAIS PAS DE LA CONSOMMATION!



Production et consommation intérieure en Indonésie. D'après BP Statistical Review 2018

Diapositive 73.

Ici, vous avez un autre cas de figure exactement identique, qui est l'Indonésie.

L'Indonésie a été historiquement l'un des premiers pays producteurs de pétrole. Et soit dit en passant, l'Indonésie explique, pour ceux d'entre vous qui ne le savaient pas, l'attaque de Pearl Harbor.

Vous avez entendu parler de l'attaque de Pearl Harbor? Alors si vous êtes comme moi, mais à 30 ans d'intervalle, vous vous êtes peut-être demandé, en cours d'histoire : « Pourquoi donc est-ce que les Japonais ont attaqué les Américains à Pearl Harbor? Qu'est-ce qui leur est passé par la tête? Pourquoi ils sont allés faire un truc comme ça? Les Américains ne les embêtaient pas. Ils ne leur demandaient rien. Et pourquoi? » Eh bien la réponse, c'est l'Indonésie.

Alors petite remise en contexte : avant-guerre, en 1939, les États-Unis contrôlent 70% de la production mondiale de pétrole. Donc il ne faut pas se demander d'où est venue la puissance américaine. Elle est venue de là. 70% de la production mondiale de pétrole. Le Japon dépend notamment des approvisionnements américains. Et puis, au moment où démarre la guerre, il y a les Américains qui se disent : « Là, on va quand même être un peu plus regardants sur la façon dont on donne du pétrole aux Japonais. »

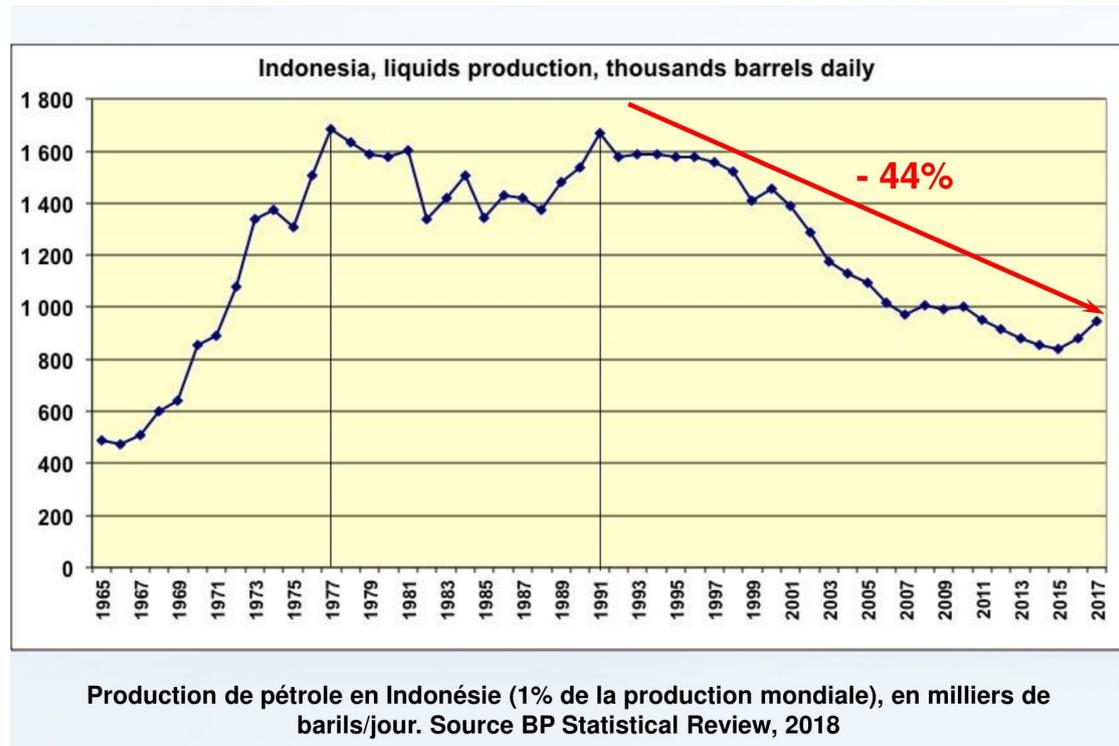
### 53. *PIC DE LA PRODUCTION... MAIS PAS DE LA CONSOMMATION!*

Et alors, à ce moment, les Japonais se sont dit « On va faire un pari. On va s'approprier le pétrole indonésien par la force. Et la seule manière d'être sûr qu'on va y arriver, c'est d'anéantir la flotte du Pacifique des Américains. Et le temps qu'ils se réveillent – c'est-à-dire le temps qu'ils reconstruisent leur marine de guerre – nous aurons sécurisé la route du pétrole vers l'Indonésie et nous serons invincibles. » C'était ça, le pari des Japonais.

C'est extrêmement bien documenté dans un livre qui s'appelle « Or Noir » d'un de mes collaborateurs qui s'appelle Matthieu AUZANNEAU, que je vous recommande et qui fait 600 pages. Donc vous avez de quoi vaincre quelques insomnies! « Or Noir », et en-dessous, « La grande histoire du pétrole ». C'est remarquable. Je vous le conseille en lecture.

L'Indonésie démarre le 20<sup>e</sup> siècle comme pays producteur de pétrole. Du coup, pareil, ils subventionnent les carburants. Du coup, la consommation augmente.

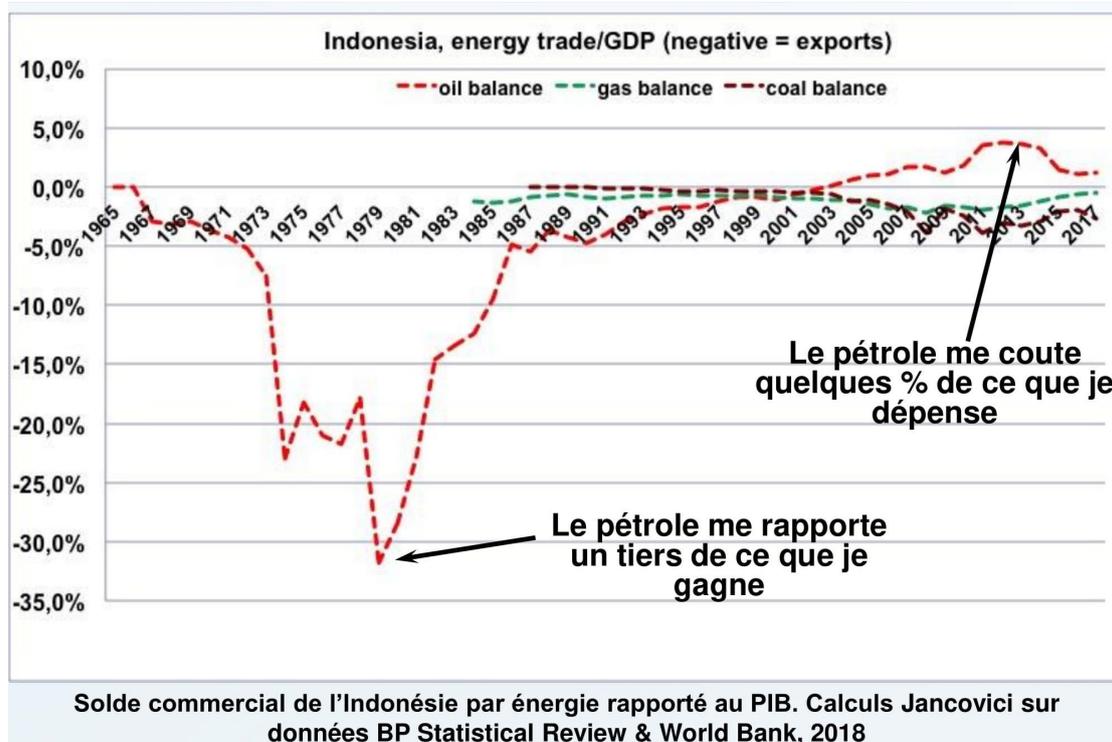
## 54. Le pic, une réalité déjà fréquente – 2



Diapositive 74.

Et puis là, ils deviennent importateurs et ils doivent subventionner leurs importations parce que l'Indonésie a passé son pic depuis maintenant plusieurs décennies – enfin le pic, même secondaire – et ils ont une production qui a été divisée par deux.

## 55. Je gagnais quelques sous, mais c'est du passé!

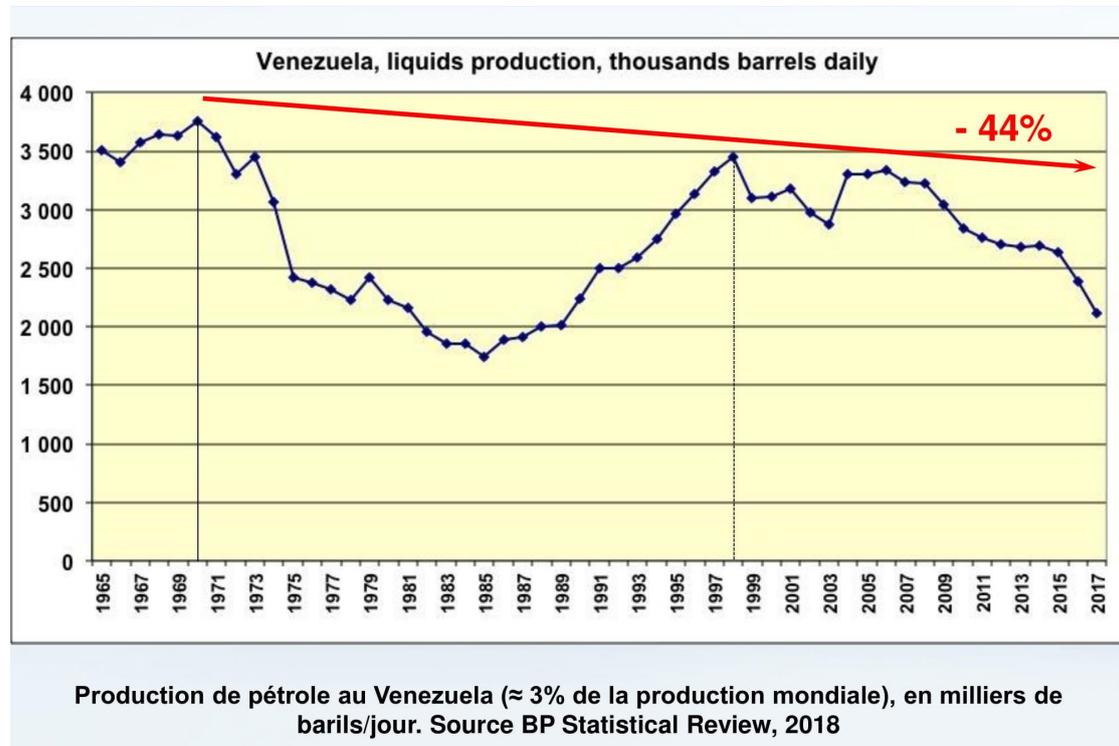


Diapositive 75.

Et à une époque, le pétrole leur ramenait 30% de leur PIB, alors que, maintenant, ça leur coûte 5%, en gros, de leur PIB.

Donc il y a eu un énorme effet de balancier dans ce pays où d'énormes sources de recettes à l'exportation, parce que les carburants étaient subventionnés, sont devenues un gros poste de déficit.

## 56. Le pic, une réalité déjà fréquente – 3



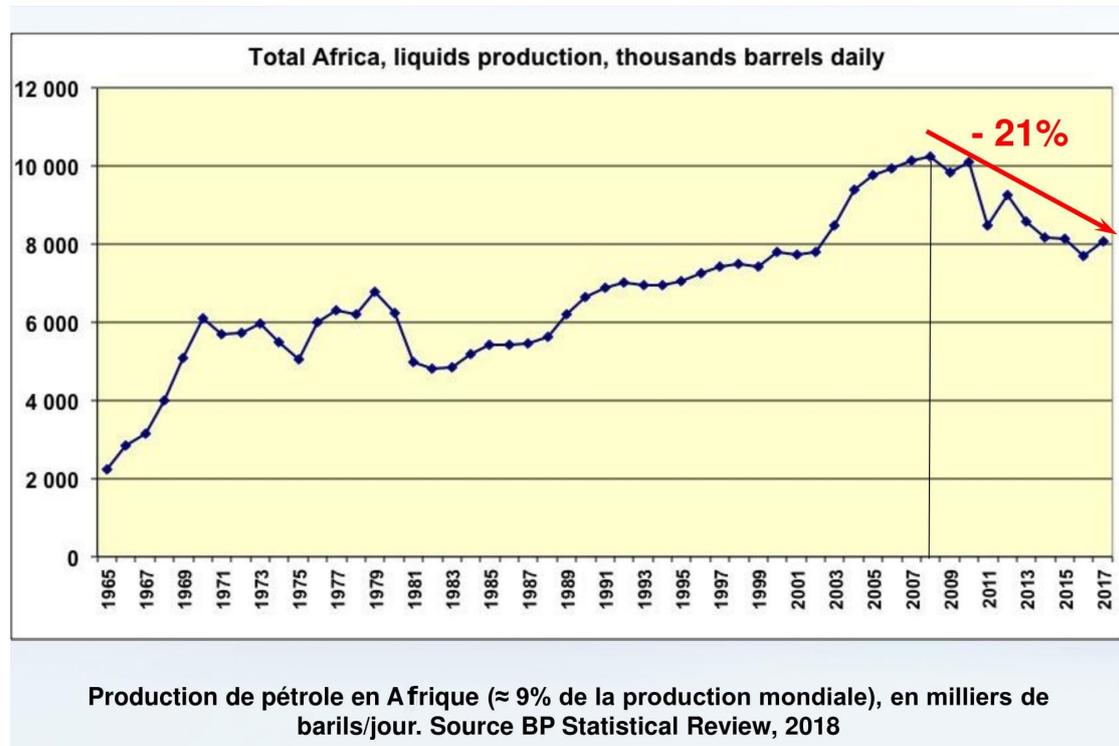
Diapositive 76.

Ici, vous avez le Venezuela.

Alors vous voyez, le Venezuela a passé son pic il y a très longtemps.

Ils ont découvert une très grosse baignoire qui aura un tout petit robinet. Et donc la question est : « Est-ce que le tout petit robinet va permettre de faire remonter ça au-dessus ? » Pas complètement sûr.

## 57. Pic du sud



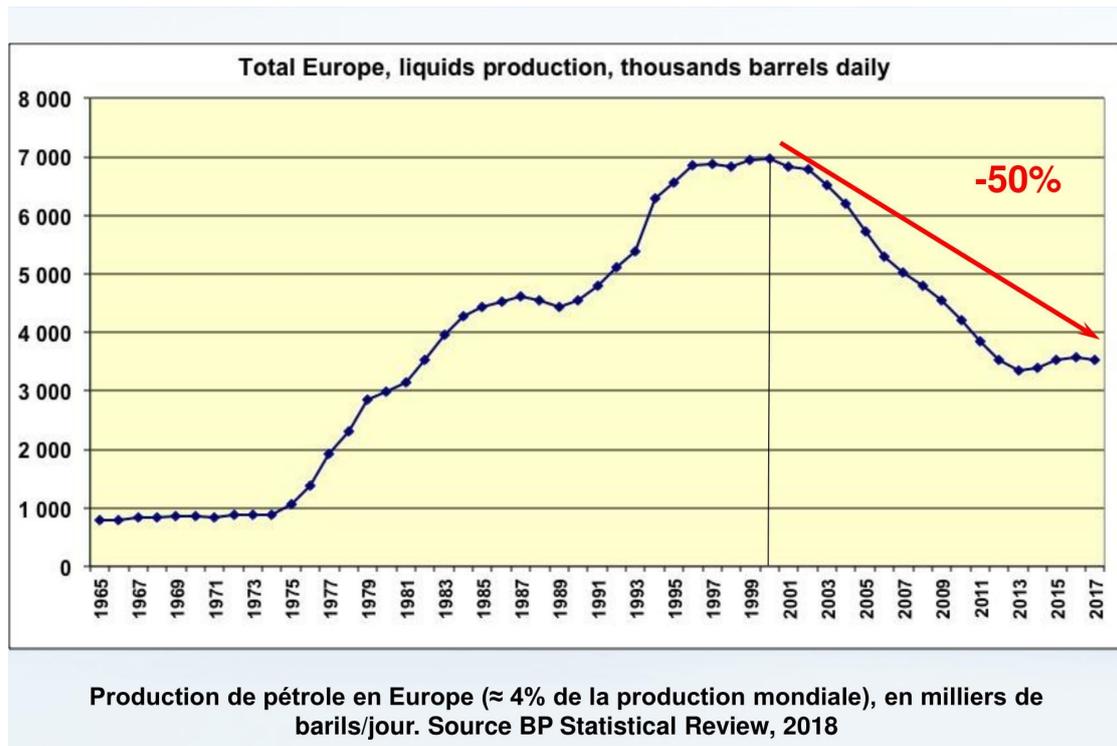
Diapositive 77.

Ici, vous avez l'Afrique.

Alors l'Afrique au sens large a passé son pic en 2009, et depuis a perdu 20% de sa production.

Alors retenez bien ça, parce que l'Afrique, c'est un des endroits où l'Europe se fournit. L'Algérie, le Nigeria, l'Angola, *etc.*, sont des fournisseurs de pétrole importants de l'Europe.

## 58. Au grand jeu du pic, les Européens sont excellents

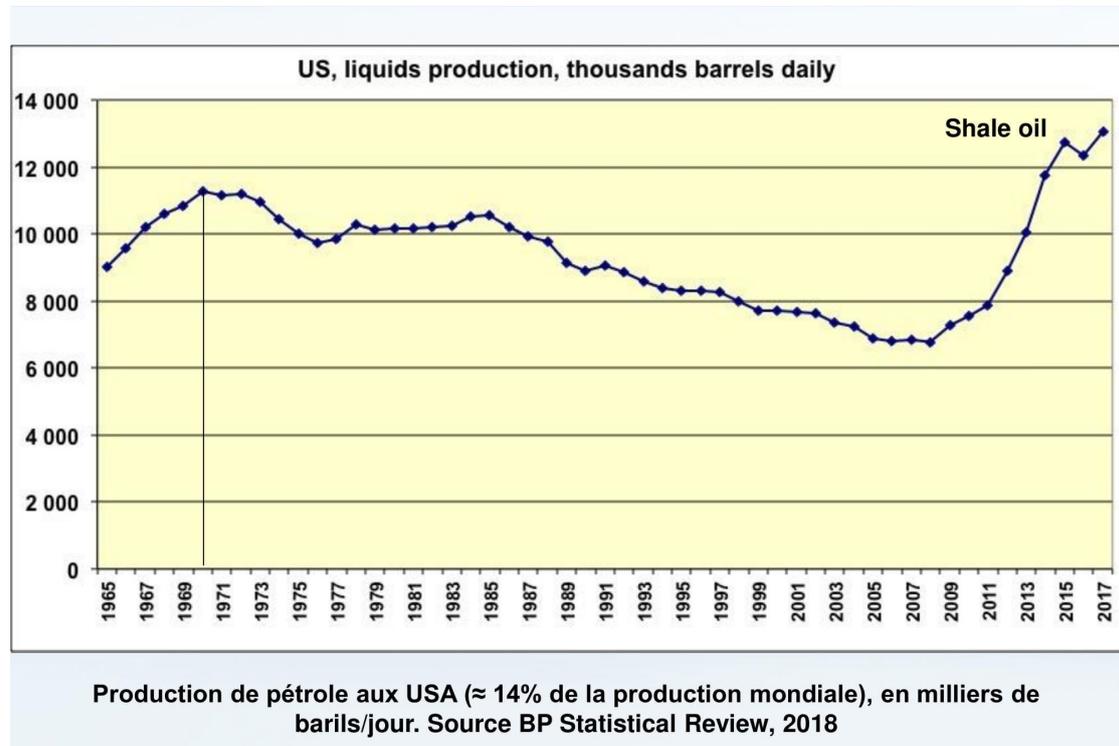


Diapositive 78.

La mer du Nord a passé son pic en 2000. Deuxième fournisseur historique important de l'Europe.

Troisième fournisseur important de l'Europe : c'est la Russie. Et le ministre russe de l'énergie a dit – donc ça vaut ce que ça vaut, je ne vous le donne pas du tout comme une vérité d'Évangile – dans la presse, il y a quelques mois : « La Russie devrait passer son pic de production dans les années qui viennent. » Et la Russie, c'est 30% des importations européennes.

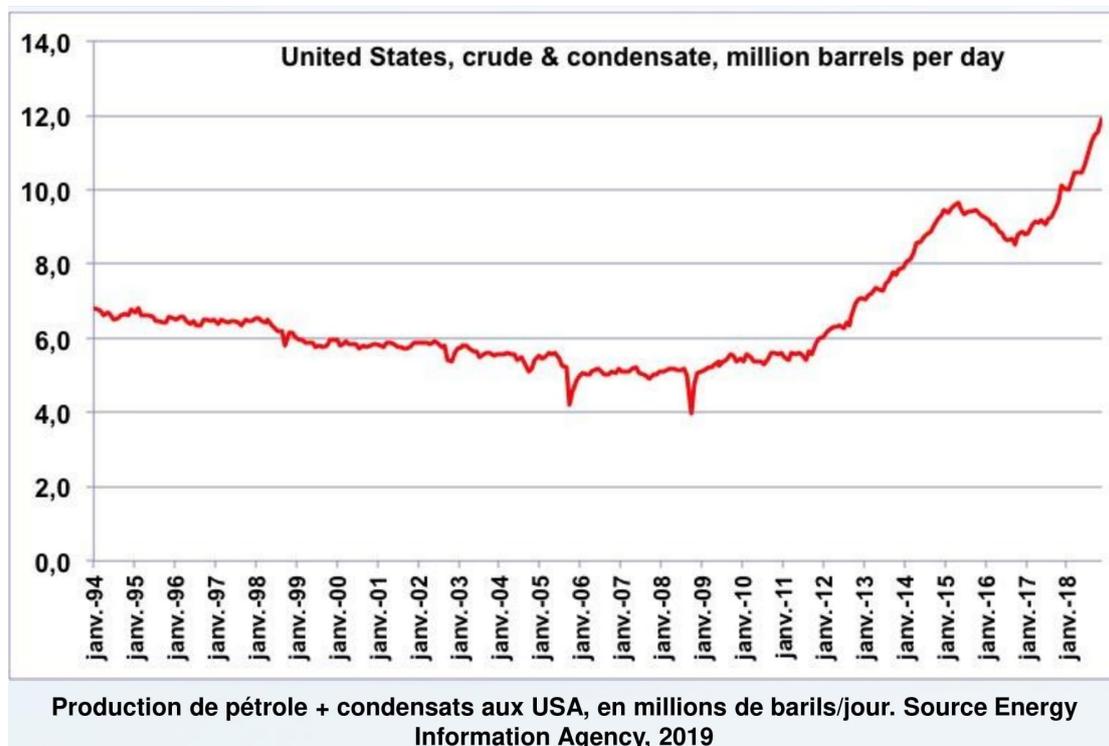
## 59. Le pic, une réalité qui se combat ?



Diapositive 79.

Les États-Unis avaient passé leur pic sur le conventionnel en 1970. Ils l'ont toujours passé, du reste, en 1970 – sur le conventionnel. Et il y a eu, depuis, l'effet « shale oil », que vous voyez très bien sur ce graphique. Et ça se prolonge même aujourd'hui. Donc ça, c'est un truc annuel qui s'arrête en 2017.

## 60. Un petit coup de microscope



Diapositive 80.

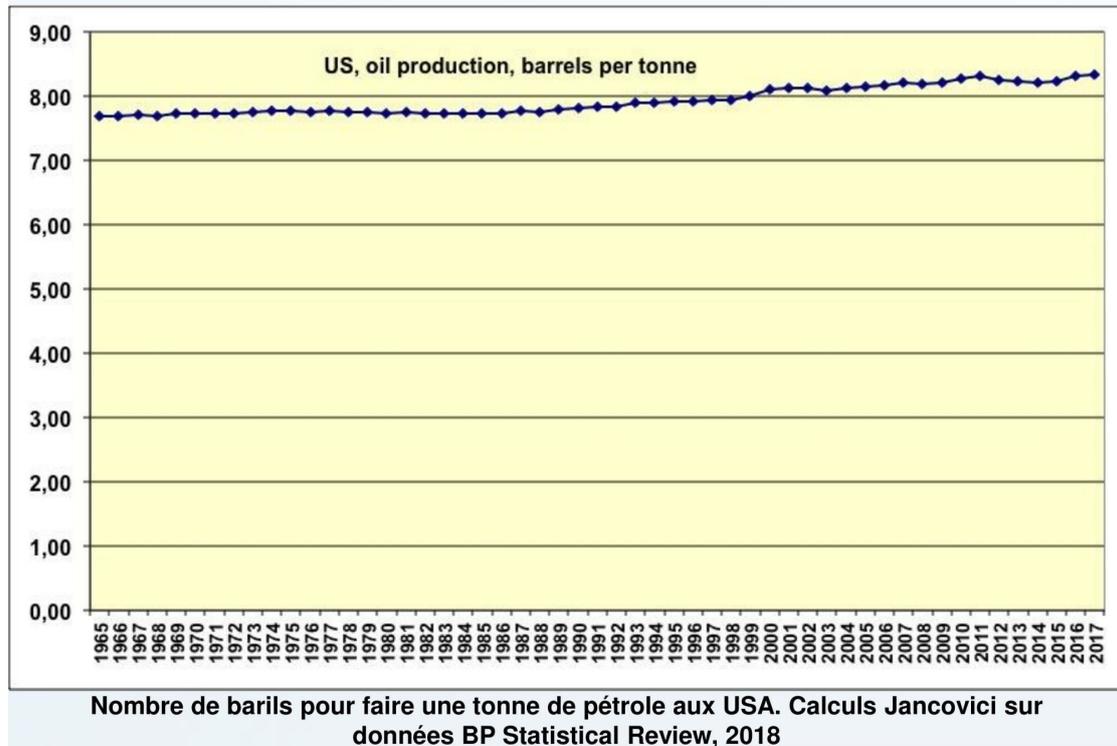
Et ça, ça va jusqu'en janvier 2019.

Donc tout le monde surveille, en ce moment, ce truc là comme le lait sur le feu, parce que vous avez une baisse actuellement de la production de pétrole dans le Permien, qui, comme je le disais, fait l'essentiel du shale oil aux États-Unis. Et alors, tout le monde se dit : « Est-ce que c'est le début de la fin pour les producteurs de shale oil ? », parce que surendettement, parce que ceci, parce que cela...

En particulier parce que les actionnaires sont en train de dire : « I want my money back. » Et donc, du coup, les foreurs vont s'arrêter de forer, en disant : « Je vais vivre sur le pétrole qui est déjà produit. » Du coup, la production va baisser, et du coup, la production mondiale va faire : « Huc, huc... »

*Donc les gens regardent, en ce moment, de manière très scrupuleuse, ce qui se passe aux États-Unis.*

## 61. Mais le baril, ça pèse toujours la même chose ?



Diapositive 81.

Jusqu'à maintenant, et je vous l'ai dit au début de ce cours, j'ai compté le pétrole parfois en barils. Et je l'ai compté en barils, tout simplement parce que c'était ce que les gens avaient sous la main quand ils ont commencé à exploiter le pétrole aux États-Unis.

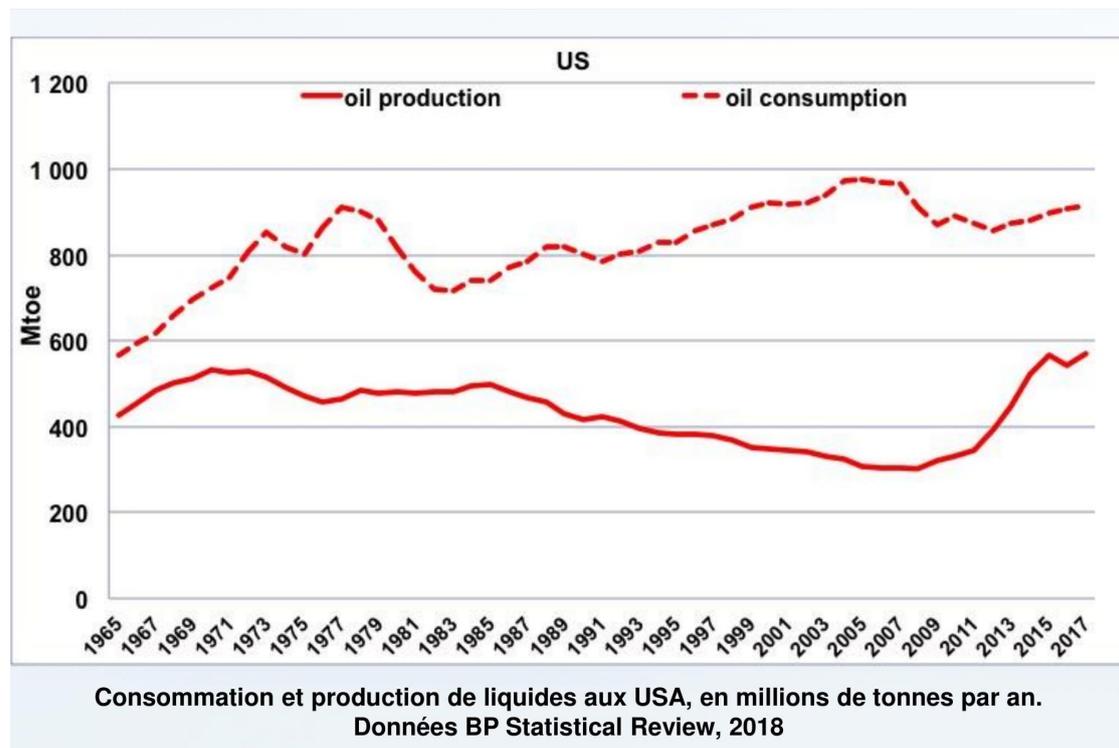
Sauf que le baril n'est pas une unité d'énergie. C'est une unité de volume. Et un petit calcul vous montre que *la quantité d'énergie contenue dans un baril a tendance à diminuer au cours du temps*. Alors, on le montre d'une autre manière, qui est : « Combien de barils de pétrole faut-il pour faire une tonne de pétrole ? »

Vous voyez que cette quantité a tendance à légèrement augmenter, et c'est notamment le contrecoup du fait qu'on met, avec le pétrole, des produits plus légers que le pétrole, qui, à volume identique, pèsent moins lourd, mais aussi, à volume identique, ont un contenu énergétique plus faible.

*61. MAIS LE BARIL, ÇA PÈSE TOUJOURS LA MÊME CHOSE?*

Donc, quand on compte la production de pétrole en barils, on ne dit pas combien d'énergie ça amène pour faire fonctionner l'exosquelette mondial. En fait, ce qu'on compte est un peu supérieur – et avec le temps, de plus en plus supérieur – à ce qui alimente l'exosquelette mondial.

## 62. Et l'auto-suffisance ce n'est pas vraiment pour tout de suite



Diapositive 82.

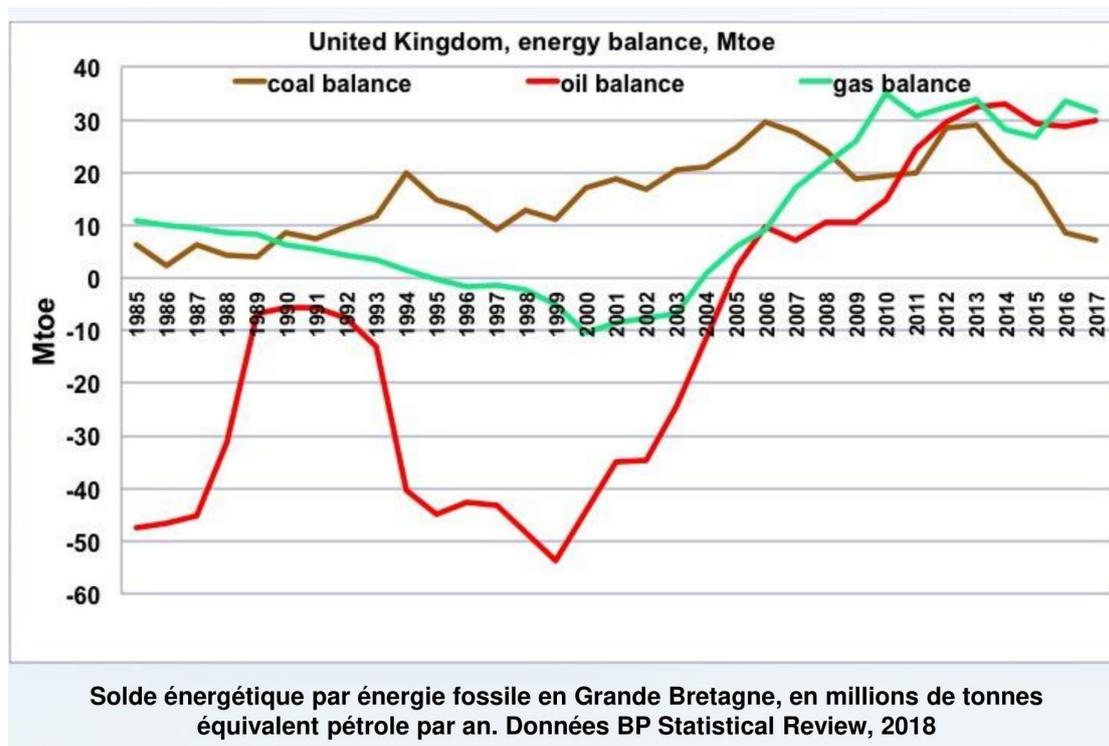
Alors on parlait des États-Unis, voilà les États-Unis.

Ici vous avez la production américaine de pétrole et la consommation américaine de pétrole. Vous voyez qu'il y a encore un peu de marge avant que la production américaine ne rattrape la consommation.

Alors, c'est rigolo parce que quand on était là [En 2013], j'ai lu un article dans Les Echos, qui disait : « En 2020, les États-Unis seront autosuffisants. »

Bon. J'attends.

## 63. On peut exporter et importer ailleurs que dans le pétrole



Diapositive 83.

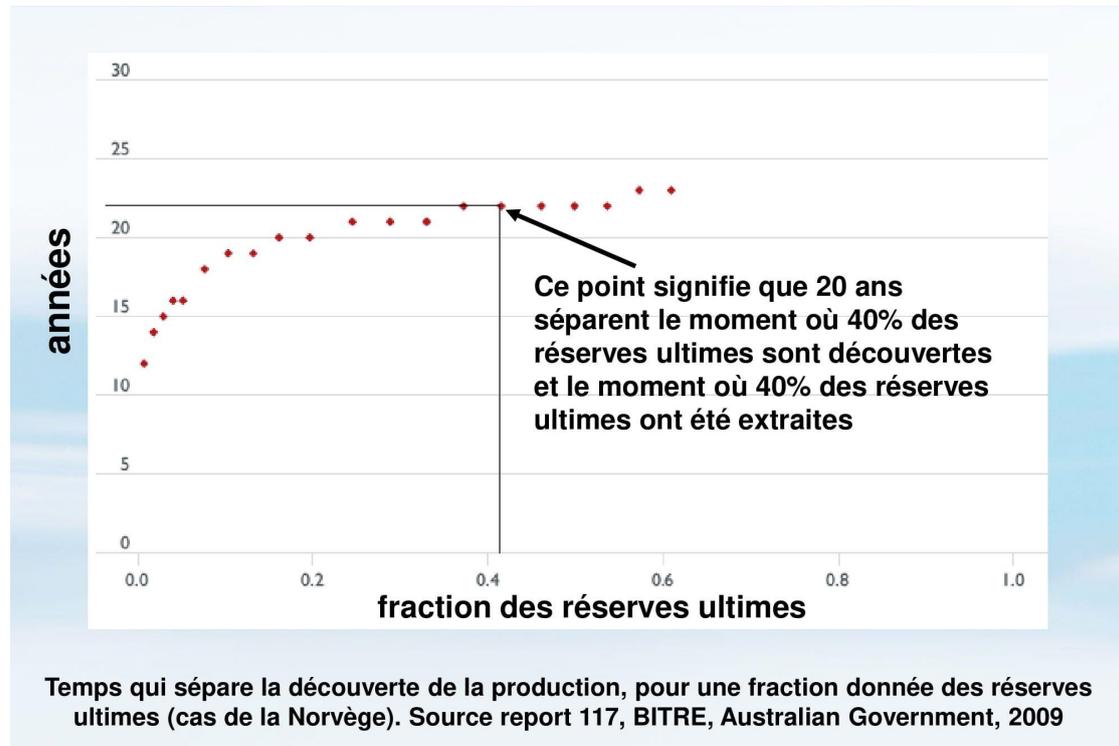
Alors on peut passer de « exportateur » à « importateur », comme l'Indonésie, sur autre chose que le pétrole.

Ici, vous avez le cas de la Grande-Bretagne. Alors la Grande-Bretagne a été le pays qui, historiquement, a connu le maximum absolu, toutes catégories confondues, de production de charbon par personne, aux alentours de 1900 : ils avaient la production de charbon par tête la plus élevée qu'il n'y ait jamais eu dans l'histoire. Très au-dessus des Chinois aujourd'hui. Mais leurs mines s'étant épuisées, ils se sont mis à importer le charbon.

Le gaz était importé. Jusqu'à la mise en production de la mer du Nord. Vous voyez que les importations baissent. À un moment ils se mettent à exporter. Et puis ils se remettent à importer.

Et en ce qui concerne le pétrole, c'est pareil. Donc ici vous avez, en creux, le double-pic de la mer du Nord. Donc ils exportent beaucoup, ensuite ils exportent peu, puis réexportent beaucoup, puis ils se sont mis à importer.

## 64. Des découvertes à la production



Diapositive 84.

Alors maintenant la question, est : « En ce qui concerne le monde dans son ensemble, qu'est-ce qu'on peut dire ? »

Alors, sur le monde dans son ensemble, je vous ai dit et montré tout à l'heure que *les découvertes de pétrole conventionnel constituent encore aujourd'hui le gros de la production de pétrole dans le monde, plus de 75%* – en incluant les liquides de gaz.

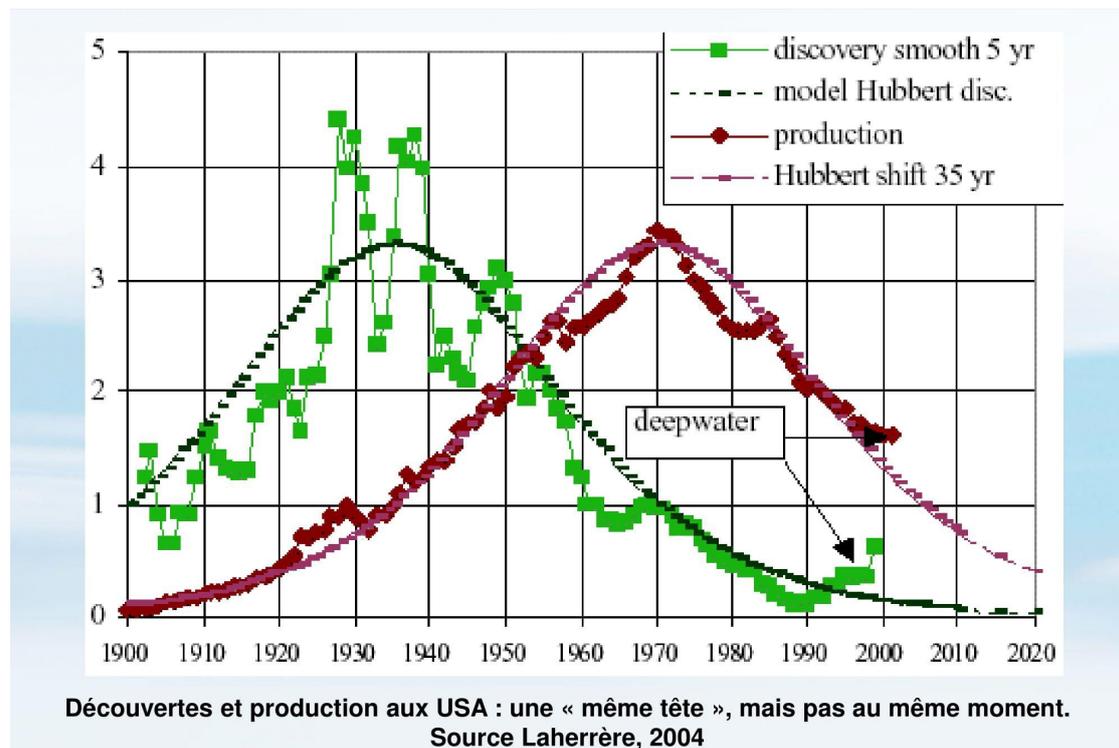
Ce que vous dit ce graphique, c'est que, quand vous commencez à avoir découvert et exploité une grande partie des gisements qui sont contenus dans une zone, vous avez la matérialisation d'un décalage constant entre le moment où vous découvrez et le moment où vous sortez de terre. Ce que vous avez sur ce graphique, ce sont les années qui séparent une fraction donnée de ce qui va sortir comme pétrole qui a été découvert, et le moment où ce pétrole est effectivement extrait.

#### 64. DES DÉCOUVERTES À LA PRODUCTION

Donc, la totalité de ce qui va être découvert, ce sont les réserves ultimes. Et je dis que je regarde le décalage en années entre le moment où je découvre 30% des réserves ultimes, et le moment où j'ai extrait 30% des réserves ultimes. Vous voyez que, quand vous êtes au tout début, que vous n'avez découvert et extrait qu'une petite partie des réserves ultimes, c'est un truc qui varie. Mais avec le temps, ça finit par se stabiliser à une valeur qui est raisonnablement constante. Et à ce moment vous dites : « Eh bien, sur ce bassin-là, c'est à peu près cette valeur-là qui va séparer le maximum de découverte du maximum de production. »

C'est comme ça que *vous datez le pic de façon anticipative* sur les gisements conventionnels.

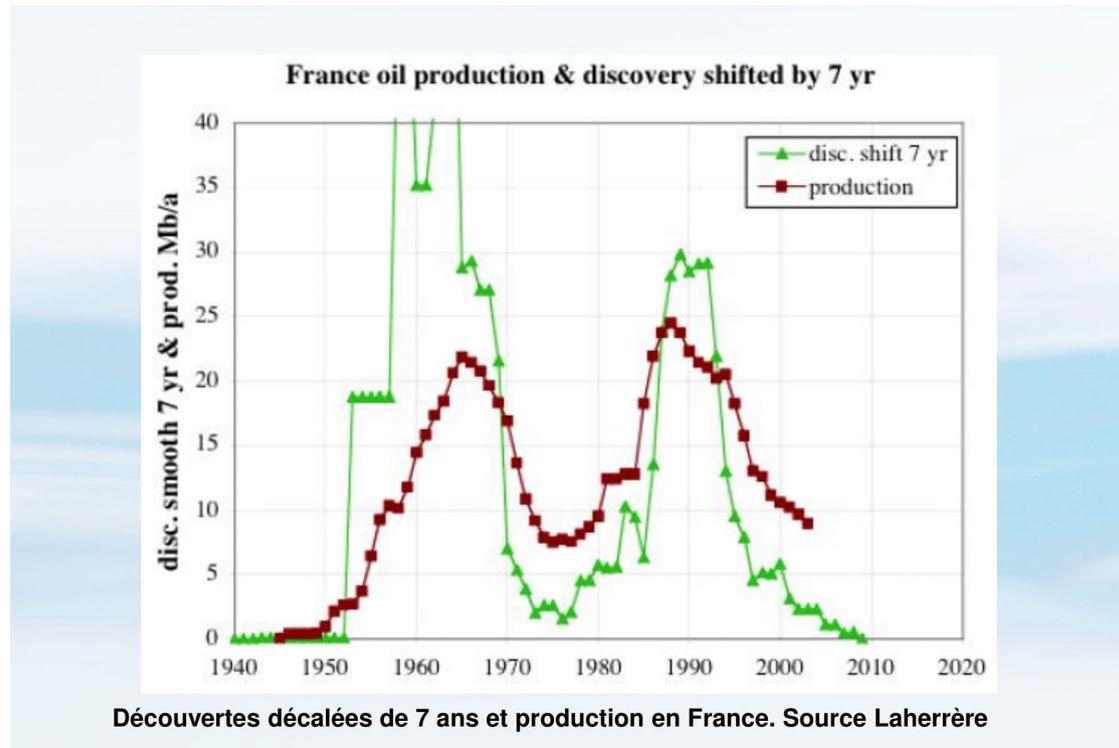
## 65. Découvertes et productions se ressemblent souvent



Diapositive 85.

Alors ça marche très bien pour les États-Unis, et c'est grâce à ça que Marion KING HUBBERT, au début des années 50, a dit que le pic de production aux États-Unis arriverait en 1970. Et il ne s'est pas trompé : à l'année près, il a eu raison.

## 66. En France, peu de pétrole, mais deux pics!

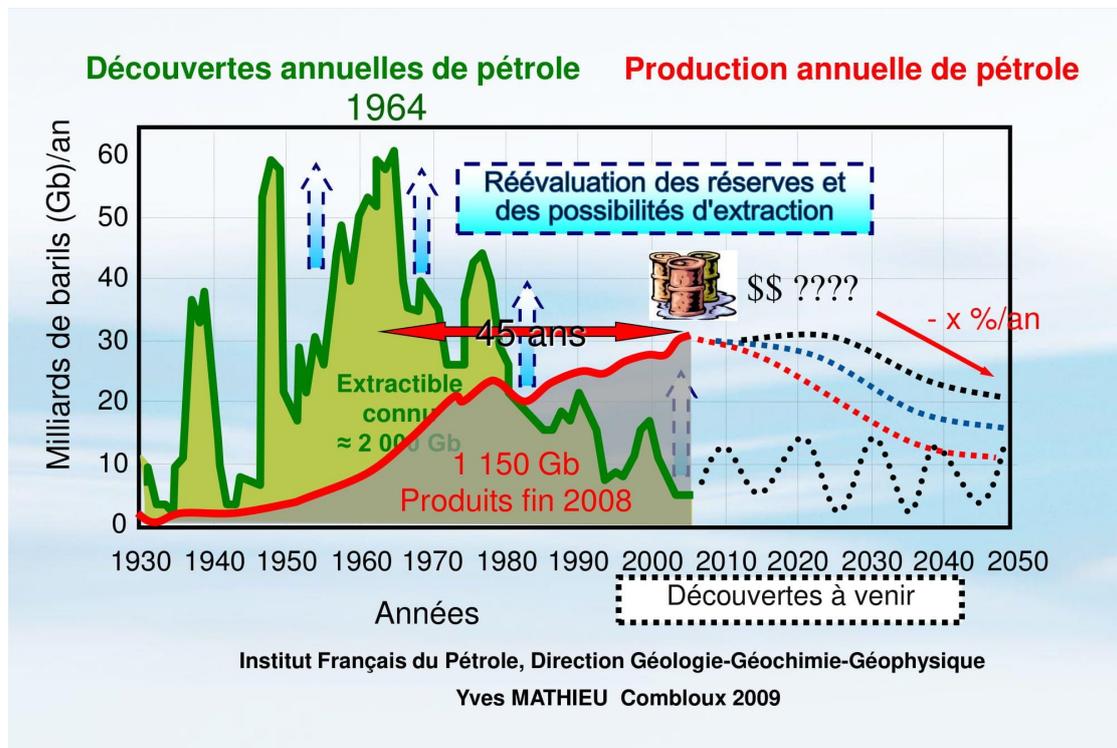


Diapositive 86.

Ça marche très bien pour la France.

Alors ici, en l'occurrence, on a décalé dans le temps, pour montrer la superposition de deux cycles de découverte et de cycle... Là c'était sept ans, en France.

## 67. Des idées et pas de pétrole, voilà le résultat



Diapositive 87.

Et puis, pour le monde dans son ensemble, vous avez le maximum des découvertes qui est dans les années 60. Et donc, le maximum de production sera décalé de quelque chose qui va ressembler à, en gros, 50 ans.

Donc... Quand je dis « 50 ans », ça pourrait être un peu plus long parce que vous allez avoir un peu plus de dégâts, etc. Et donc ce que disent la majeure partie des spécialistes, c'est qu'on va vivre une période en plateau ondulé pendant une période mal définie – 5 ans, 10 ans, ou 15 ans – qui a probablement commencé dans les années 2000, qui va se prolonger jusqu'à on ne sait pas quand, 2030, peut-être après, peut-être avant – ça va dépendre aussi de ce qu'on fera sur le climat – et qui va être une période de fortes oscillations des prix à cause du processus que j'ai évoqué tout à l'heure.

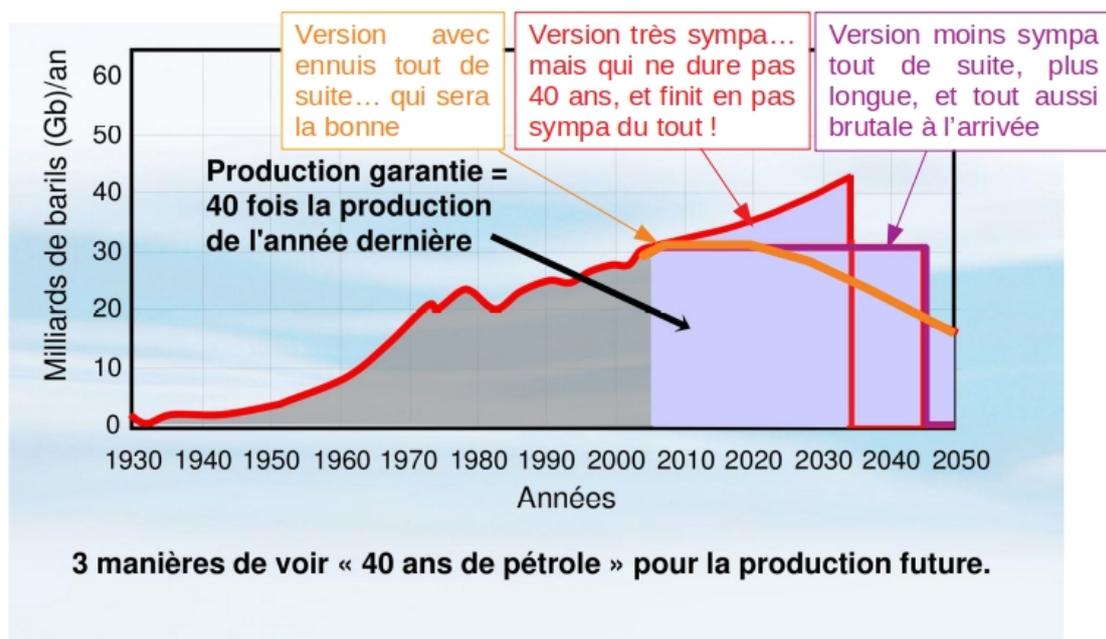
Et puis, derrière, *il y aura un déclin*. Parce que mon théorème assimilé de Rolle s'appliquera de toute façon. Donc quoi que pense l'automobiliste français, et quoi que pense l'automobiliste américain, et quoi que pense l'automobiliste chinois, et quoi que pense l'automobiliste sud-africain, de toute façon ça déclinera. Et il faudra vivre avec.

## *67. DES IDÉES ET PAS DE PÉTROLE, VOILÀ LE RÉSULTAT*

Et si on veut respecter les engagements sur le climat, dont on va parler dans les deux cours qui suivront, il faut, en plus, que ça décline plus vite que ce que la géologie nous impose.

Mais ce que je suis en train de vous expliquer là, c'est qu'il y a de toute façon une « voiture-balai ». Qui est que, de toute façon, il y a un moment où on en aura moins quand même, même si on ne veut pas. C'est le charme du monde fini : on ne peut pas avoir indéfiniment de plus en plus.

## 68. Trois versions d'un R/P = 40



Diapositive 88. [Éditée par les transcripteurs.]

Dans cette affaire-là, il y a une confusion très importante, qui a lieu en permanence, et qui consiste à mélanger des durées et des volumes.

Vous avez aussi peut-être, pour un certain nombre d'entre vous, lu ou entendu : « Il nous reste trente ans de pétrole. » Alors quand on dit ça, on fait quelque chose qui est illégitime : on compte un volume d'énergie résiduelle en années. Moi, je sais compter du temps en années. Mais compter un volume d'énergie résiduelle en années, c'est plus compliqué.

Alors en fait, ce que les gens sous-entendent quand ils disent ça, c'est que si vous multipliez la consommation de l'année par une durée, vous obtenez le volume d'énergie qui reste. Donc en fait, ils parlent d'une intégrale.

## 68. TROIS VERSIONS D'UN $R/P = 40$

Alors là, il y a une première confusion dans cette histoire : c'est que l'intégrale dont ils parlent, c'est celle-là. Sauf qu'aucune consommation ne va suivre une courbe de cette nature, sauf à avoir une peste bubonique géante qui intervient le 1<sup>er</sup> janvier de la 41<sup>e</sup> année, qui supprime tous les consommateurs et donc toute consommation. Vous n'avez pas 40 ans de pétrole comme ça. C'est-à-dire que vous n'avez pas 40 ans à consommation constante, puis le 1<sup>er</sup> janvier de la 41<sup>e</sup> année, crac! et ça passe à zéro. Ça n'existe pas.

Donc compter en années, ça peut avoir du sens si vous désignez l'intégrale. Mais ça vous donne une fausse idée de tranquillité. Parce qu'à chaque fois que vous entendez : « Il y en a pour 40 ans de pétrole », moi j'entends : « Je suis tranquille pour 40 ans. » C'est évidemment ça que j'entends.

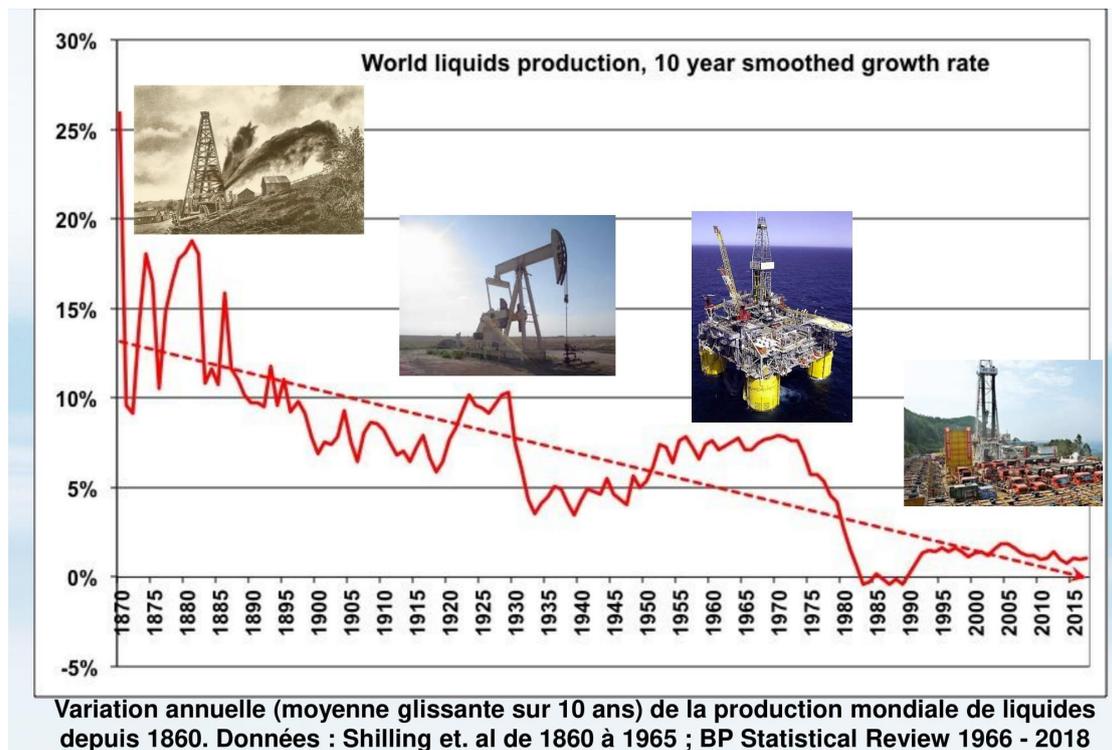
Et en fait, pour être tranquille, il faudrait qu'on ait encore mieux que ça. Il faudrait qu'on ait 40 ans croissants, puisque ce qui nous assure la tranquillité c'est la croissance, et donc une production croissante. Donc en fait, on serait plutôt tranquilles pour 32 ans.

En fait, la bonne manière de comprendre ça, c'est cette courbe-là. C'est-à-dire que vous pouvez très bien avoir 40 ans de pétrole au sens de l'intégrale – c'est-à-dire vos 40 fois la consommation de l'année – et pour autant, vous êtes demain matin en production déclinante.

Or, *ce qui va faire mal à l'économie*, je vais vous le montrer dans pas longtemps, ce n'est pas le fait que l'intégrale vaille encore 40 ans, ou 60, ou 80, ou 253. C'est le fait que *cette ressource*, qui est la ressource indispensable aux échanges, donc à l'économie telle qu'elle est configurée aujourd'hui, *vienna à manquer demain, au sens où demain j'en ai 3% de moins*. C'est ça qui est important.

Le fait qu'il m'en reste pour 40 fois... Le fait que le volume de ma baignoire soit 40 fois ce qui est sorti du robinet l'année dernière, ça ne me donne pas le débit futur.

## 69. Je crois, mais un peu moins... en attendant de décroître?



Diapositive 89.

Alors, quelque chose qui est plus intéressant à regarder, me semble-t-il, c'est la façon dont le débit du robinet a varié sur les 150 dernières années.

Donc ici, vous avez une courbe qui vous donne une moyenne glissante sur dix ans – c'est déjà assez heurté au début – et qui vous donne la variation de la production mondiale de pétrole.

Donc ce que vous voyez, c'est qu'il y a un siècle et demi, avec des moyens techniques somme toute très rudimentaires, j'avais une production mondiale de pétrole qui augmentait tous les ans de 15%, en gros. Et puis vous voyez que, quelques décennies plus tard, avec des moyens techniques qui sont déjà beaucoup plus sophistiqués, en fait, je ne sais pas faire mieux que +10% par an, ce qui est déjà énorme. Là, vous voyez qu'au moment des chocs pétroliers, en fait, on est passé de 10% par an à beaucoup moins que 10% par an. Avec

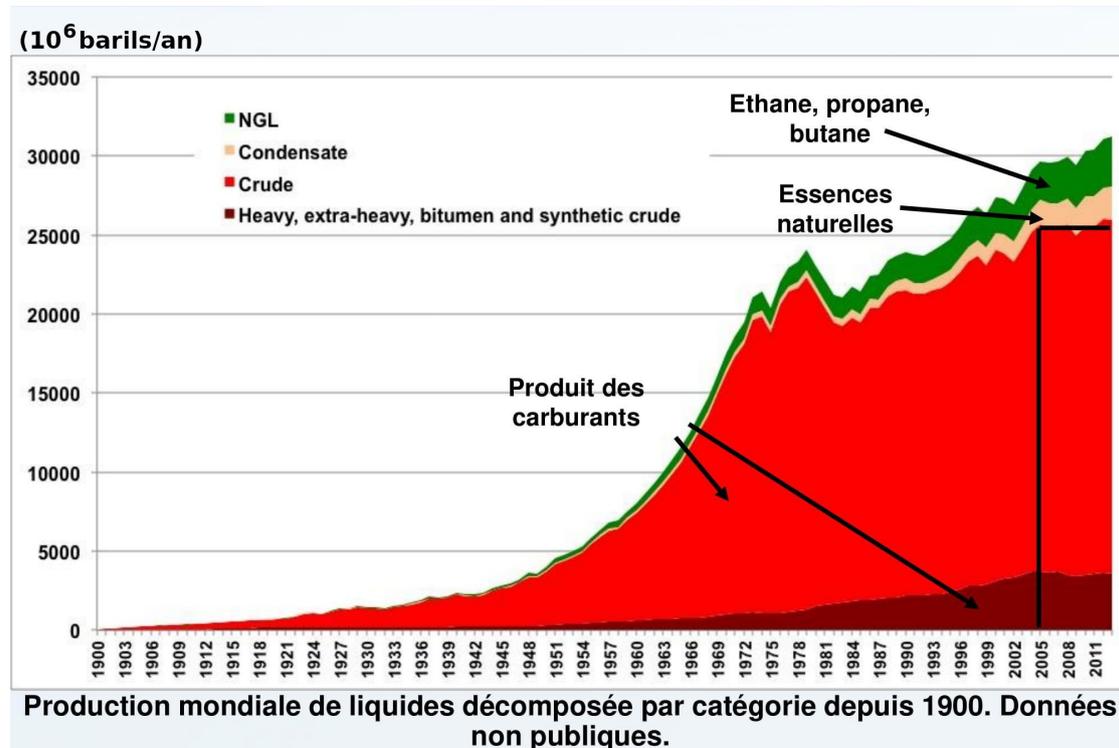
69. *JE CROIS, MAIS UN PEU MOINS... EN ATTENDANT DE DÉCROÎTRE?*

des moyens encore plus sophistiqués, après, je suis descendu plutôt à 5%. Et après les chocs pétroliers, ça descend longtemps à 0. Puis à pas grand-chose. Malgré les hydrocarbures de roche-mère qui sont des techniques encore plus sophistiquées.

Alors, pour la petite histoire, la première exploitation d'hydrocarbures de roche-mère a eu lieu en 1824 ou 1826 – je ne sais jamais, l'autre étant la découverte de l'effet de serre par Fourier, donc je confonds les deux en permanence – aux États-Unis, dans une petite ville de l'Est Américain qui s'appelle Fredonia, où on avait exploité du shale gas pour de l'éclairage municipal. Donc les hydrocarbures de roche-mère, sont connus depuis deux siècles. Il ne faut pas croire que c'est un truc qu'on a découvert très récemment. Ce qu'on a découvert très récemment, c'est une technique qui permet de les extraire du sol de façon à peu près intéressante. Et c'est ça qu'on a découvert récemment. Ce n'est pas la ressource elle-même.

Donc, si vous vous dites : « Ce qui compte, c'est la concavité de la courbe », c'est-à-dire la dérivée seconde, on n'arrive pas très loin du moment où la dérivée doit s'annuler, et donc on arrive au pic. On ne devrait pas en être très loin.

## 70. Il y a toujours pétrole et pétrole...



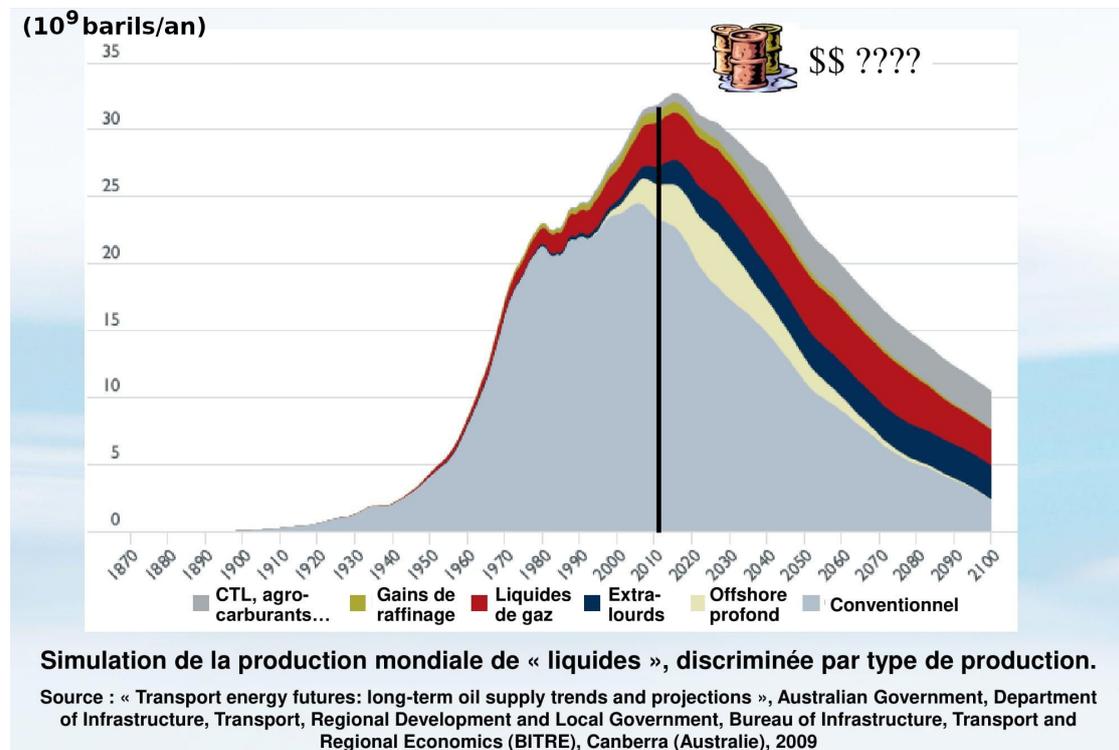
Diapositive 90.

Ici vous avez une décomposition qui malheureusement s'arrête en 2013, dans laquelle on a décomposé le pétrole conventionnel, ici les condensats, ici les liquides de gaz, et ici les extra-lourds.

Et vous voyez que si je prends le « vrai » pétrole, eh bien depuis le milieu des années 2000, ça s'est arrêté de croître.

Et en fait, ce qui croît, ce sont les condensats et les liquides de gaz, c'est-à-dire deux produits qui sortent avec le gaz.

## 71. Et le pic mondial, il est loin papa ?



Diapositive 91.

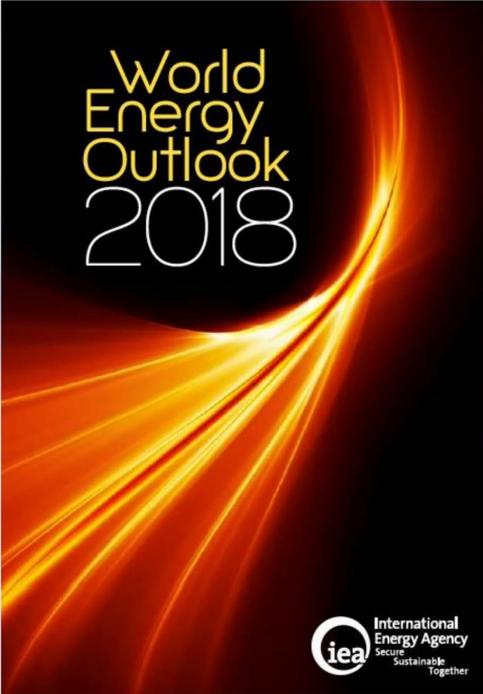
Ici vous avez une projection qui a été faite il y a une dizaine d'années sur la production mondiale de liquide.

Alors, vous voyez le pétrole conventionnel au sens des gisements conventionnels. C'est quelque chose qui va jusqu'au clair, là. Si vous y ajoutez les sables bitumineux – les canadiens, etc. – ça monte jusqu'au bleu foncé. Et vous voyez que le maximum est donc aux alentours des années 2020.

Mais ça va beaucoup dépendre de ce terme-là, qui sont les liquides de gaz et le shale oil. Toutefois, ça ne va pas empêcher, à un moment, le déclin de l'ensemble à cause du déclin du conventionnel. Ça va probablement plus ralentir le déclin qu'empêcher le déclin.

Et plein de gens que je connais disent depuis longtemps : « C'est 2020, plus ou moins cinq ans, et plus ou moins 5 millions de barils-jour, dans un sens ou dans l'autre. » Je reviendrai à la question du prix après.

## 72. World energy outlook 2018



**« Global conventional crude oil production peaked in 2008 at 69.5 mb/d and has since fallen by around 2.5 mb/d »**

The risk of a supply crunch looms largest in oil. The average level of new conventional crude oil project approvals over the last three years is only half the amount necessary to balance the market out to 2025 (...). US tight oil is unlikely to pick up the slack on its own. (...) US tight oil (...) would need to more than triple in order to offset a continued absence of new conventional projects.

Diapositive 92.

Ici, je vous cite un rapport. Vous avez de la chance, vous êtes la première promotion qui a droit à ça ! Ça fait dix ans que je raconte la même chose sur le fait que le pic ne devrait pas être très loin.

Dans le rapport « World Energy Outlook » de l'Agence Internationale de l'Energie qui est sorti en décembre dernier, vous trouvez – là, c'est pareil : ça n'a pas fait les gros titres de la presse – cette phrase, que je vous invite à méditer :

*« En 2018, cela fait dix ans que la production de pétrole conventionnel, dans le monde, est passée par son maximum. Et depuis, elle est en déclin. »*

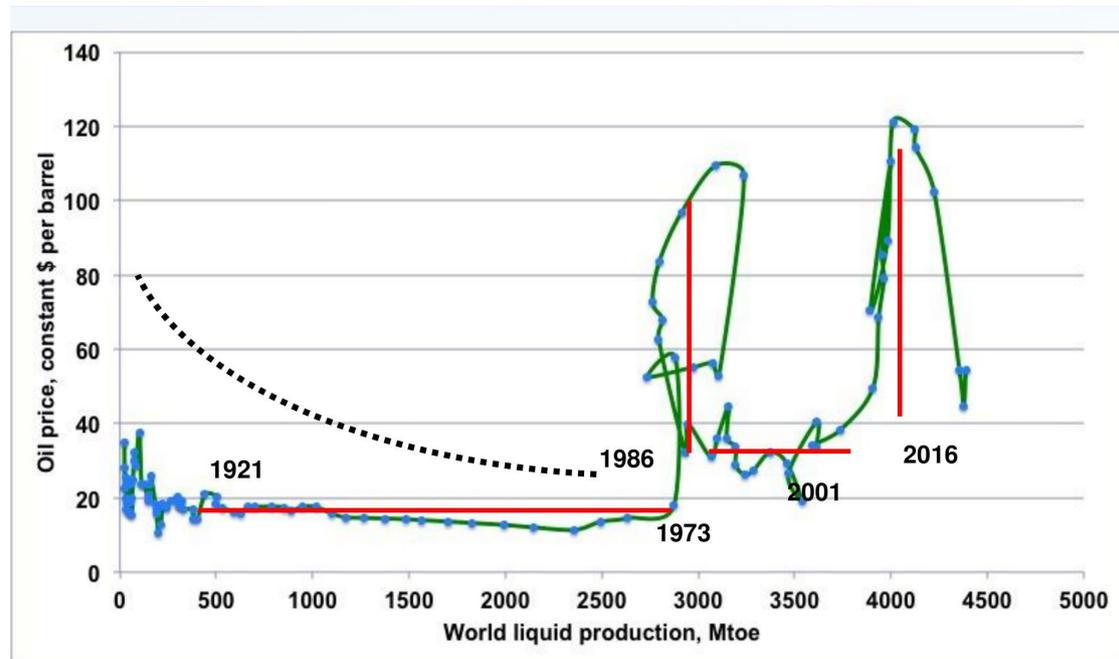
Donc l'Agence Internationale de l'Energie vous dit : « En ce qui concerne la partie qui n'est pas le shale oil et la partie qui n'est pas les sables bitumineux, nous avons un déclin qui a démarré il y a dix ans. »

## 72. WORLD ENERGY OUTLOOK 2018

Dans le même rapport, l'Agence Internationale de l'Energie vous dit ça : « Il y a un risque d'offre, de réduction de l'offre – « supply crunch » – et il n'y a pas ce qu'il faut pour monter l'offre au niveau de la demande si on ne multiplie pas par trois la production actuelle de shale oil aux États-Unis. » Et quand vous vous tournez vers les projections de shale oil aux États-Unis, les projections les plus optimistes tablent plutôt sur un  $\times 2$ , avant une stabilisation qui va durer ce qu'elle va durer.

Donc, apprêtez-vous à vivre une époque intéressante, parce que la réponse du système à cette affaire-là, que je vais vous montrer dans pas longtemps, sera, en gros, *une grosse déstabilisation économique.*

### 73. Le prix du pétrole est-il élastique?



Prix du baril ( ordonnée ) vs. PIB en dollars constants ( abscisse ) de 1921 à 2017.  
Jancovici, 2018, sur données BP Statistical Review

Diapositive 93.

Alors, la première chose qu'il faut avoir à l'esprit, c'est que la façon dont cette déstabilisation arrive n'est pas, contrairement à ce que vous entendez parfois dans vos cours d'économie – mais je ne veux pas être méchant avec vos profs d'économie – une augmentation indéfinie du prix du baril.

Vous savez que vous apprenez, en cours d'économie : « s'il y en a moins, c'est plus cher » et « s'il y en a plus, c'est moins cher ». Donc, s'il y en a de moins en moins, ça devrait être de plus en plus cher, et si vous en avez de plus en plus, ça devrait être de moins en moins cher.

Donc si je fais un graphique dans lequel j'ai la quantité totale de pétrole utilisé, et là le prix du baril, vous êtes d'accord avec moi que je devrais avoir des points qui s'organisent le long d'une courbe qui ressemble à peu près à ça [Courbe en pointillés]. Si, chaque année, je reporte prix et volumes, eh bien, mon nuage de points devrait se balader le long d'un truc qui ressemble à ça.

### 73. LE PRIX DU PÉTROLE EST-IL ÉLASTIQUE?

Ce que vous voyez ne ressemble absolument pas à ça. La première chose que vous voyez, c'est que la relation entre prix et volumes, en ce qui concerne le pétrole, n'est pas bijective. Ce n'est pas bijectif.

Alors, ce n'est pas bijectif, et ça évolue, même, si vous essayez de simplifier, avec deux régimes totalement inélastiques – c'est-à-dire que la valeur d'un des paramètres ne dépend absolument pas de la valeur de l'autre – et qui sont totalement orthogonaux.

Là, on en vient à la question de tout à l'heure : c'est l'OPEP. Donc vous avez une très, très longue période pendant laquelle le prix du baril est totalement indépendant du volume, et totalement stable. Les chocs pétroliers, c'est un régime exactement inverse où vous avez un volume à peu près constant – je dis bien à peu près constant – et un prix totalement erratique. Puis, arrive de nouveau une période où vous avez un prix à peu près constant et un volume qui varie significativement. Et de nouveau, un épisode dans lequel vous avez un volume qui varie peu – parce que je vous rappelle que l'essentiel de l'incrément, là, ce n'est pas du pétrole mais plutôt du liquide de gaz, qui ne sont évidemment pas cotés sur le marché du Brent – avec un prix qui fait n'importe quoi.

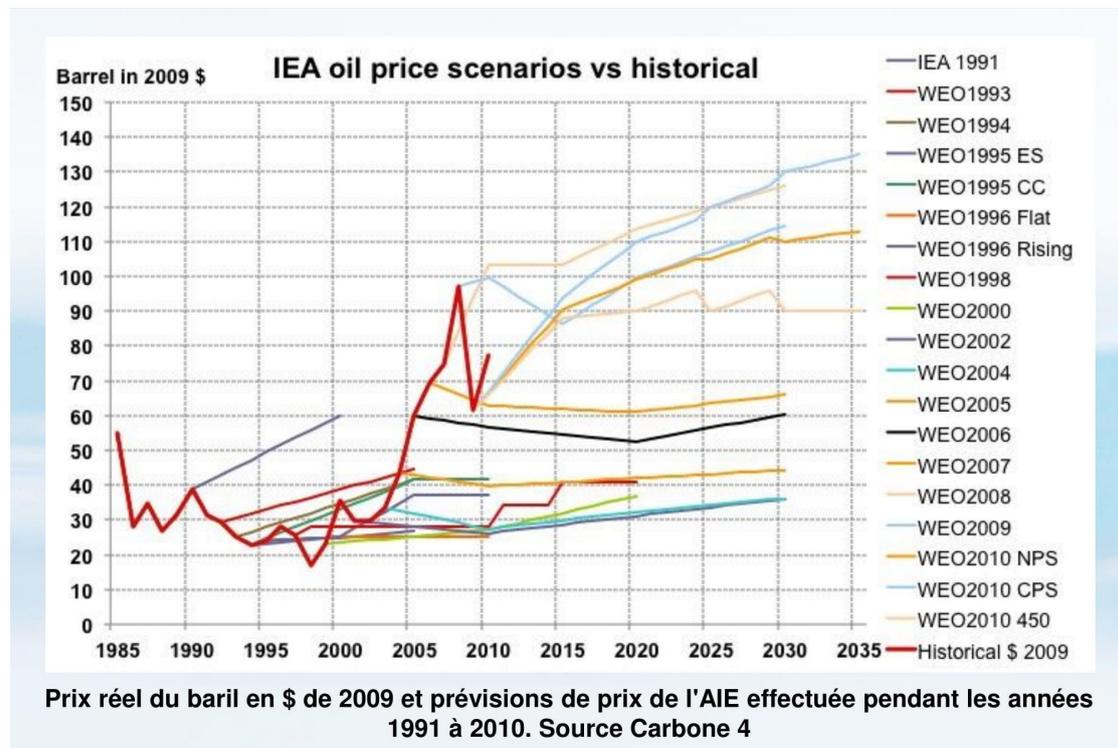
Alors, ce que je suis en train de vous dire là, c'est que la raréfaction du pétrole, également à cause du phénomène d'oscillation dont j'ai parlé tout à l'heure, ne se matérialisera pas par une envolée indéfinie des prix. Ce n'est pas ça qui va se passer. Ça ne s'est pas produit dans le passé, ça ne se passera pas dans le futur.

Les deux indicateurs qui vont vous caractériser une raréfaction du pétrole sont les suivants :

- Le premier, c'est *l'augmentation indéfinie des investissements à consentir pour extraire un baril supplémentaire*. Dit autrement c'est la hausse des investissements nécessaires pour faire un puits supplémentaire pour extraire du pétrole. Ça, c'est le premier marqueur. Donc ce qu'il faut regarder, ce sont les investissements – que j'ai regardés tout à l'heure en fait. Ce sont les CAPEX. Donc les investissements croissants que je vous ai montrés tout à l'heure, c'est une marque d'un début de raréfaction.
- Et la deuxième manière dont va se matérialiser une insuffisance de pétrole – j'y viendrai dans pas longtemps – c'est par *une contraction de l'économie*. C'est par *une baisse du PIB*.

Mais ce n'est pas par une hausse du prix du baril.

## 74. Il vaut mieux prévoir le passé que le prix futur



Diapositive 94.

Alors comme, par contre, les gens qui font des projections sur les prix du baril utilisent des modèles dans lesquels il y a des élasticités qui n'existent pas dans la vraie vie, voilà ce que ça donne quand on fait des projections sur le prix du pétrole.

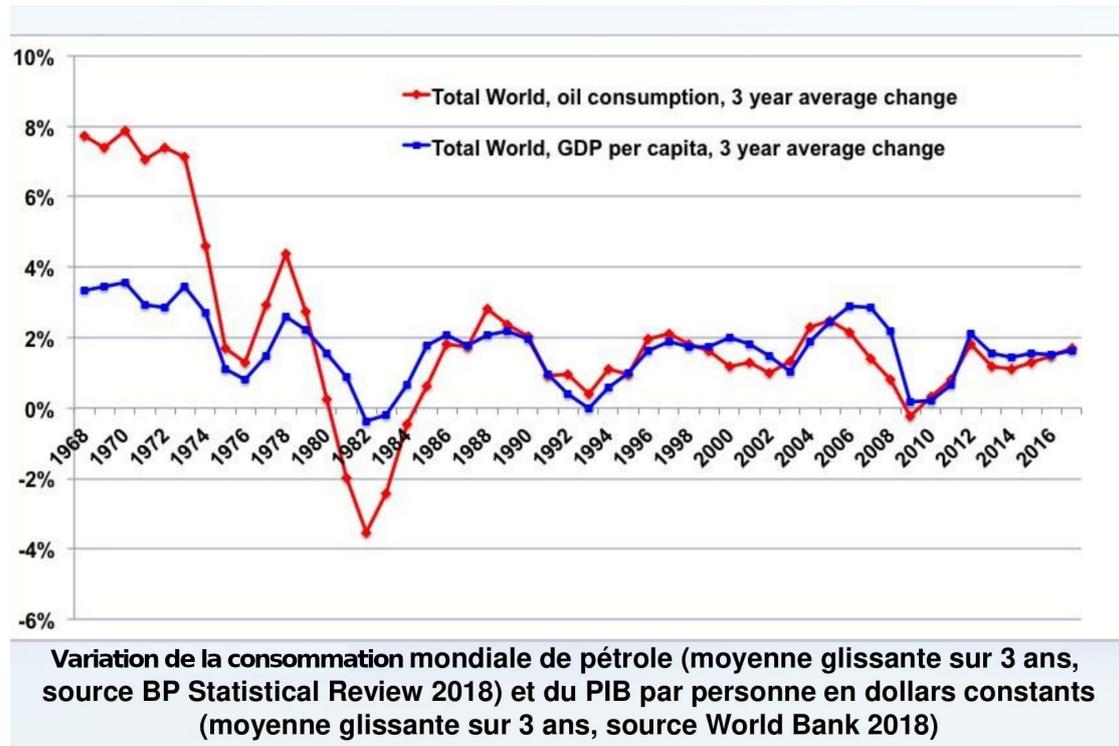
Vous avez ici en rouge ce qu'a vraiment été la variation du prix du pétrole, et tous les spaghettis horizontaux, là, ce sont des projections qui figurent dans les rapports de l'Agence Internationale de l'Energie sur ce que sera le prix du pétrole plus tard. Je ne sais pas vous, mais moi, si j'ai un responsable marketing chez moi qui me fait des projections de cette nature, je ne suis pas sûr de le garder très longtemps.

#### 74. IL VAUT MIEUX PRÉVOIR LE PASSÉ QUE LE PRIX FUTUR

Mais c'est pas grave! Année après année on recommence. Donc allez voir dans le World Energy Outlook de 2018, et vous verrez, vous avez encore – je ne vous l'ai pas mis là – mais vous avez encore des projections de prix du pétrole sur 20 ans. Évidemment ça ne vaut pas un clou. Ça n'empêche pas quelques journaux, dont un certain journal du soir qui se veut de référence, de recopier : « Le prix du baril devrait atteindre 80 dollars en 2038. » Si ça les amuse!

Mais ça ne fait rien. De toute façon ce n'est pas ça le sujet, puisque le prix n'a pas beaucoup d'importance. *Ce qui a de l'importance c'est le volume.*

## 75. Puis-je avoir de l'économie sans pétrole ?



Diapositive 95.

Et ici vous avez une corrélation.

Alors au début je n'avais que la corrélation, je n'avais pas compris le rapport de cause à effet. Le rapport de cause à effet, je l'ai compris quand j'ai compris ce que je vous ai expliqué au premier cours, c'est-à-dire que l'énergie est ce qui alimente les machines, et les machines sont ce qui fait la production.

Et en particulier *le pétrole*, c'est ce qui permet les échanges entre machines. C'est-à-dire que le pétrole, c'est ce qui permet que le camion transporte le pot de yaourt qui a été fait dans une usine de pots de yaourts, jusque dans l'usine de Danone où on va le remplir avec du yaourt, puis de nouveau jusque dans le supermarché où vous allez l'acheter – en y allant, soit dit en passant, avec votre voiture une fois sur deux.

Le pétrole c'est ce qui permet ça. *C'est le fluide qui permet l'organisation du système physique mondial de production.*

## 75. PUIS-JE AVOIR DE L'ÉCONOMIE SANS PÉTROLE ?

Si demain matin je n'ai plus de pétrole, j'ai beau avoir de l'électricité, je n'ai pas une marchandise qui est livrée dans une usine, je n'ai pas une matière première qui est livrée dans une usine, je n'ai pas un produit qui part d'une usine, et – soit dit en passant – je n'ai pas 80% des Français qui peuvent aller au travail le matin.

Donc, *vous avez une dépendance de l'économie mondiale au transport, donc au pétrole, qui est absolument totale*, et qui se matérialise par cette courbe que vous avez là, où vous avez :

- En rouge : la variation annuelle – en fait c'est une moyenne lissée sur trois ans – de la quantité de pétrole qui sort des puits : c'est une quantité, ce n'est pas un prix, c'est la variation d'un nombre de barils ou d'un nombre de tonnes, peu importe. C'est la variation.
- Et en bleu : vous avez la variation du PIB par personne dans le monde.

Alors ce que vous voyez, c'est qu'avant les chocs pétroliers, les deux variations sont semblables en signe mais pas du tout en valeur (enfin en quantité). Et ça, ça veut dire qu'avant les chocs pétroliers, en fait, l'économie est moins dépendante du pétrole qu'après.

Après, on a eu deux processus :

1. La mondialisation, qui a rallongé les chaînes logistiques, donc rendu plus dépendant du pétrole.
2. L'efficacité énergétique, qui fait que chaque dollar utilise moins de pétrole. Mais du coup, quand vous détruisez un baril de pétrole, vous détruisez plus de dollars. Vous mettez plus de machines à l'arrêt aujourd'hui en ayant un baril de pétrole en moins, que ça n'était le cas en 1960 parce que les machines sont plus efficaces. Donc le revers de la médaille c'est que, du coup, elles sont aussi plus dépendantes.

Et ce que vous voyez également de manière très intéressante sur ce graphique, c'est que la variation du pétrole se situe globalement légèrement en avance de phase par rapport à la variation du PIB. Donc ça invalide l'idée qui est qu'il y aurait une croissance qui vient de Mars, et que du coup, on consomme du pétrole parce qu'on en a les moyens. En fait, la façon dont ça se passe, cf. le premier cours, c'est : comme vous avez les moyens de mettre les machines en action, du coup ça produit, et vous avez du PIB. C'est bien dans ce sens-là que les choses se passent.

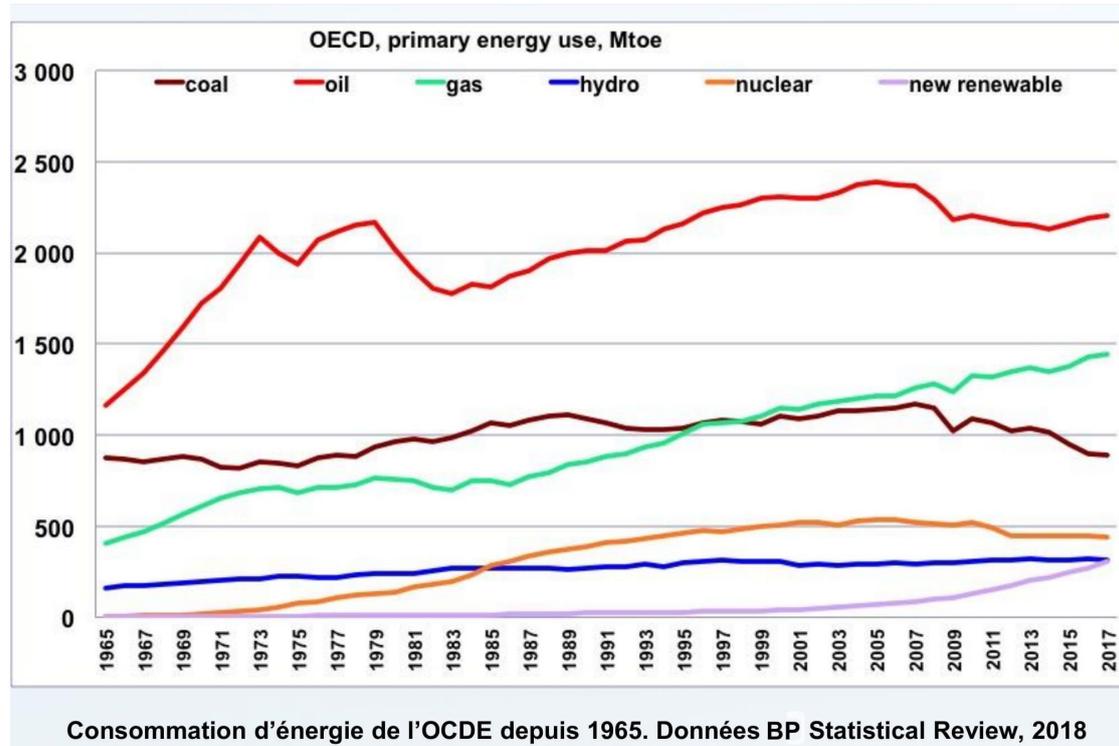
## 75. PUIS-JE AVOIR DE L'ÉCONOMIE SANS PÉTROLE ?

Alors le phénomène d'asservissement qui est : « J'ai un peu plus d'argent, le pétrole est un peu moins cher, et du coup j'en achète un peu plus », il ne pilote pas la variation du PIB. Par contre il pilote l'oscillation des prix dont je parlais tout à l'heure.

Mais retenez bien ce graphique, parce que ce graphique vous dit quelque chose de très simple. Il vous dit que le jour où le shale oil se casse la gueule aux États-Unis, la courbe rouge passe en négatif, et du coup la courbe bleue passe en négatif. Et du coup, votre avenir, c'est que vous demanderez à votre employeur de vous payer un peu moins chaque année. C'est ça une récession.

Donc tout ce que je vous ai raconté pendant ce cours sur le pétrole... Encore aujourd'hui on vous parle énormément des autres énergies, mais vous avez vu au premier cours que ce n'était toujours pas grand-chose... Ce que je vous ai raconté aujourd'hui en ce qui concerne le pétrole, retenez-le bien, pas seulement pour me faire plaisir – encore que ça me fera très plaisir – mais retenez-le bien, parce que *c'est quelque chose qui va jouer un rôle central dans le monde dans lequel vous allez vivre*, pour le temps qu'il va vous rester à vivre, que j'espère très long.

## 76. Autant de pétrole qu'on veut, qu'il paraît ?



Diapositive 96.

Alors maintenant, regardons la zone OCDE.

Vous avez ici l'évolution de la quantité d'énergie utilisée, par énergie, dans la zone OCDE. Vous remarquerez que, comme pour la France que je vous ai montrée tout à l'heure :

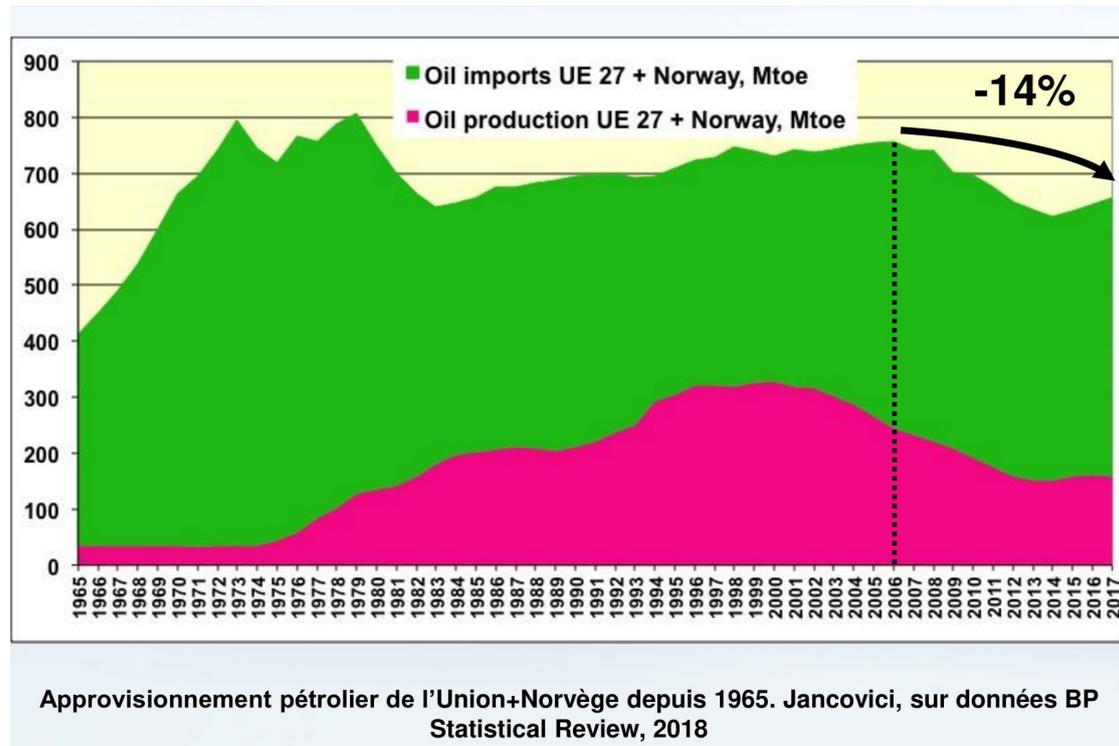
1. Avec le choc pétrolier : ça s'arrête de monter.
2. Ça reste globalement stable jusqu'en 2006.
3. Et là, ça commence à décliner.

Et la consommation de pétrole de la zone OCDE aujourd'hui est inférieure à ce qu'elle était en 2006.

## *76. AUTANT DE PÉTROLE QU'ON VEUT, QU'IL PARAÎT?*

Alors 2006, je vous rappelle que c'est 2 ans avant la crise économique de 2008 – enfin la crise financière de 2009. Et c'est 2 ans avant la faillite de Lehman Brothers. Et quand vous regardez bien l'enchaînement chronologique de ce qui s'est passé pendant ces années-là, vous avez d'abord ; ralentissement énergétique ; puis ralentissement de la production – le PIB décélère avant la crise financière ; et après « Badaboum ! » : ça attaque une montagne de dettes qu'on avait commencé à créer au moment du premier choc pétrolier (c'est ce que je vous ai expliqué la dernière fois) pour compenser une augmentation de la production qui ne savait déjà plus suivre l'augmentation de la redistribution.

## 77. Camionneur en Europe, un métier d'avenir?

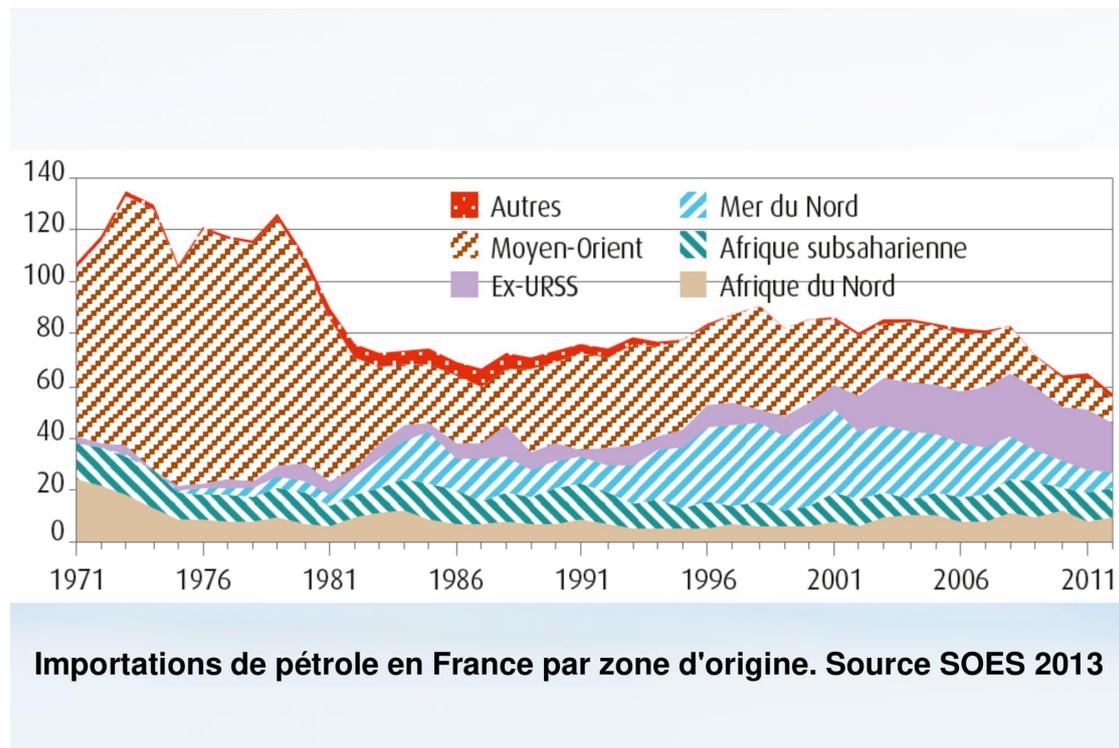


Diapositive 97.

En Europe, même motif même punition.

Vous voyez ici le pic de la mer du Nord. Ça [En vert], ce sont les importations. Et vous voyez que, 2 ans avant le pic de production du conventionnel, la production mondiale s'arrête quasiment de croître. À ce moment, les importations en Europe commencent à décroître, et l'Europe entre en crise elle aussi.

## 78. Des idées hexagonales mais du pétrole qui ne l'est pas



Diapositive 98.

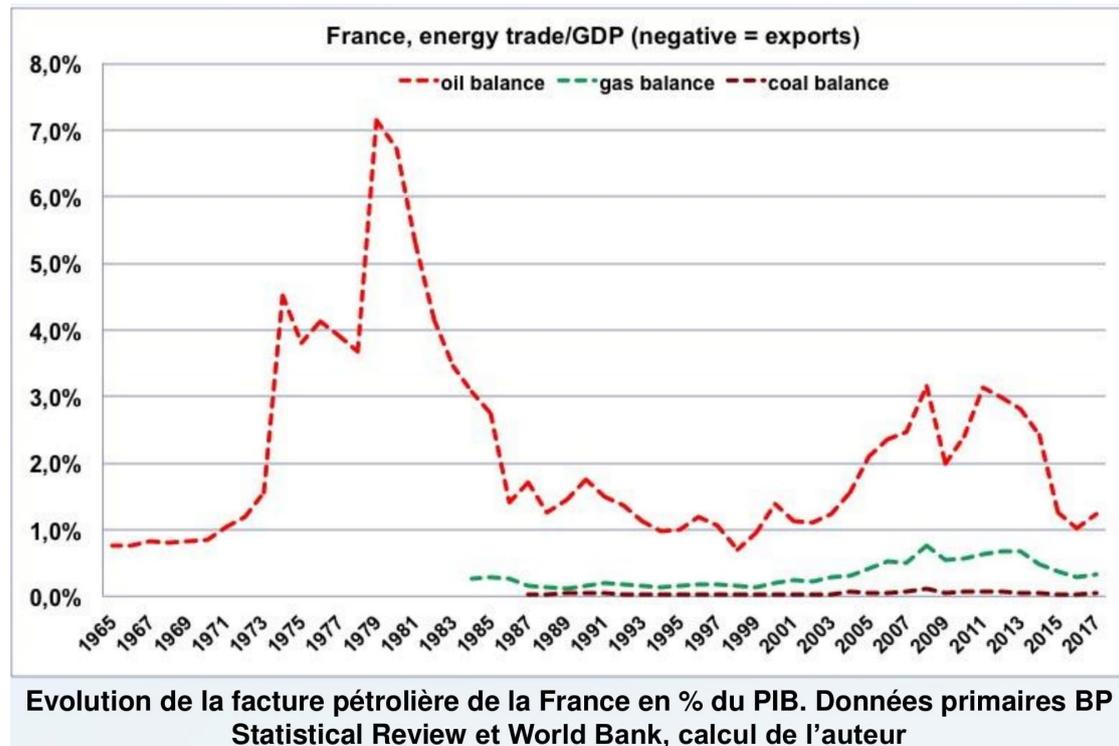
Le pétrole, aujourd'hui, d'où est-ce qu'il vient ?

C'est ce que je vous ai dit tout à l'heure. Vous voyez, c'est intéressant de savoir ce que raconte le ministre russe de l'énergie, car la Russie, ça fait quand même un gros paquet du pétrole qui rentre chez nous. Le Moyen-Orient ce n'est pas énorme. Ça c'est le Nigeria. L'Angola. Ça, c'est la mer du Nord qui est en contraction. Et là vous avez l'Afrique du Nord et notamment l'Algérie.

Alors l'Algérie est post-pic en ce qui concerne son pétrole. La mer du Nord est post-pic, ça se voit très bien. Ici, vous avez l'Afrique sub-saharienne qui est post-pic. Ça commence à faire beaucoup ! Et il reste la Russie.

Donc ce n'est pas complètement sûr que vous ayez terminé vos études, ici ou plus tard, avant qu'il se passe des choses assez étonnantes de ce côté-là.

## 79. Combien pour mes précieuses énergies fossiles ?



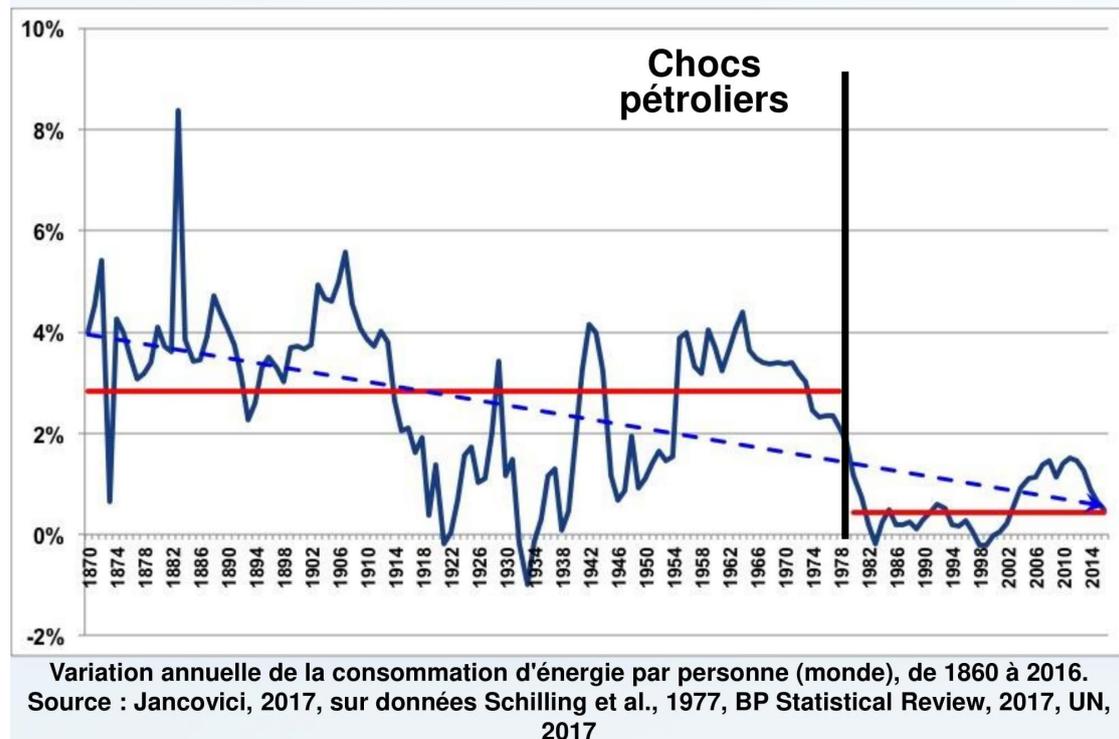
Diapositive 99.

Je le répète, ce n'est pas le prix l'indicateur dominant. J'avais commencé le premier cours par ça, et je vous le redis : l'importation de pétrole en France, c'est quelques pourcents du PIB. Mais 100% du PIB en dépendent. 100%.

Même mon producteur super-bio, sympa, avec les coccinelles, chez qui je vais acheter des patates, il dépend du pétrole. S'il n'a pas son camion qui va au marché, il n'y a pas de patates, et comme il est à Dourdan, c'est un peu loin pour y aller le matin avant de venir au travail.

*Donc vous avez une dépendance totale – je dis bien : totale – aujourd'hui, de l'économie aux moyens de transport. Donc ce n'est pas parce que ça nous coûte 3% du PIB que ce n'est pas important.*

## 80. Quel signal faut-il observer ?



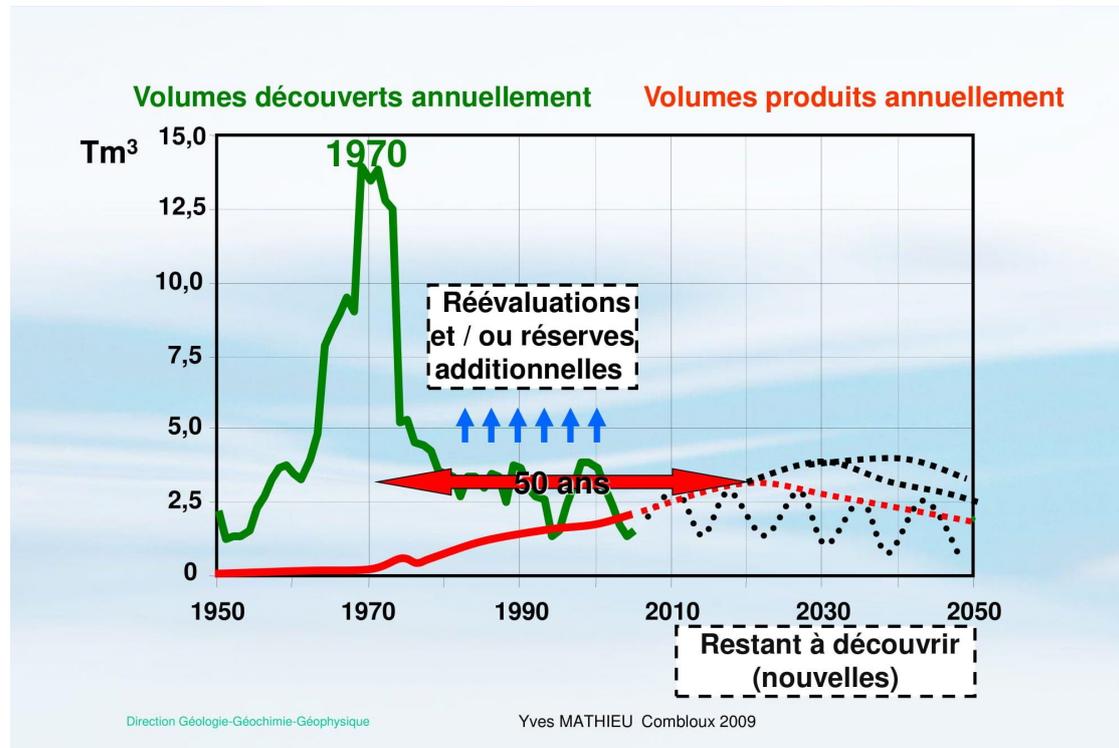
Diapositive 100.

Ce que vous voyez ici, c'est la variation de l'approvisionnement énergétique par personne, sur durée très longue – un siècle et demi. Et en rouge vous avez la valeur moyenne par grandes périodes, avant et après les chocs pétroliers.

Vous voyez qu'après les chocs pétroliers, on a vraiment descendu une marche d'escalier en ce qui concerne la variation de cet approvisionnement énergétique. Donc ça a vraiment marqué une rupture dans le monde.

Alors maintenant, je vais aller plus vite pour le reste.

## 81. Plus de pétrole? Mettons les gaz!

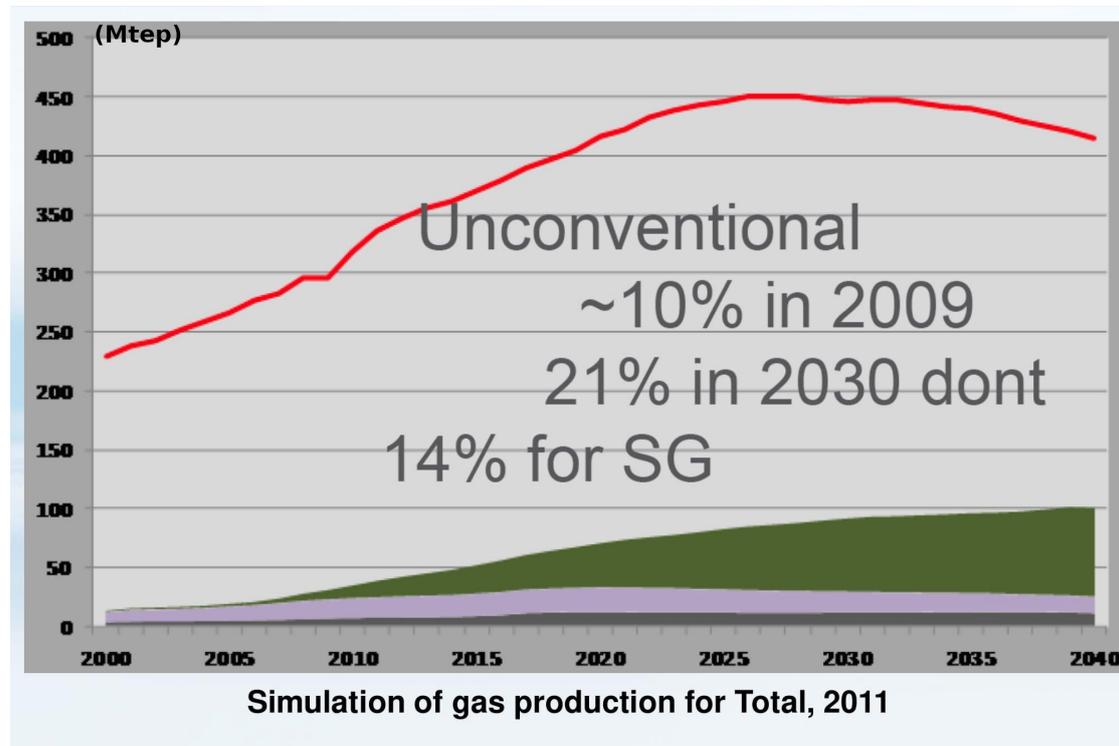


Diapositive 101.

Le gaz, même motif même punition.

Le gaz se découvre, après il s'extrait, et vous avez aussi un décalage dans le temps qui fait que, etc. C'est exactement la même chose.

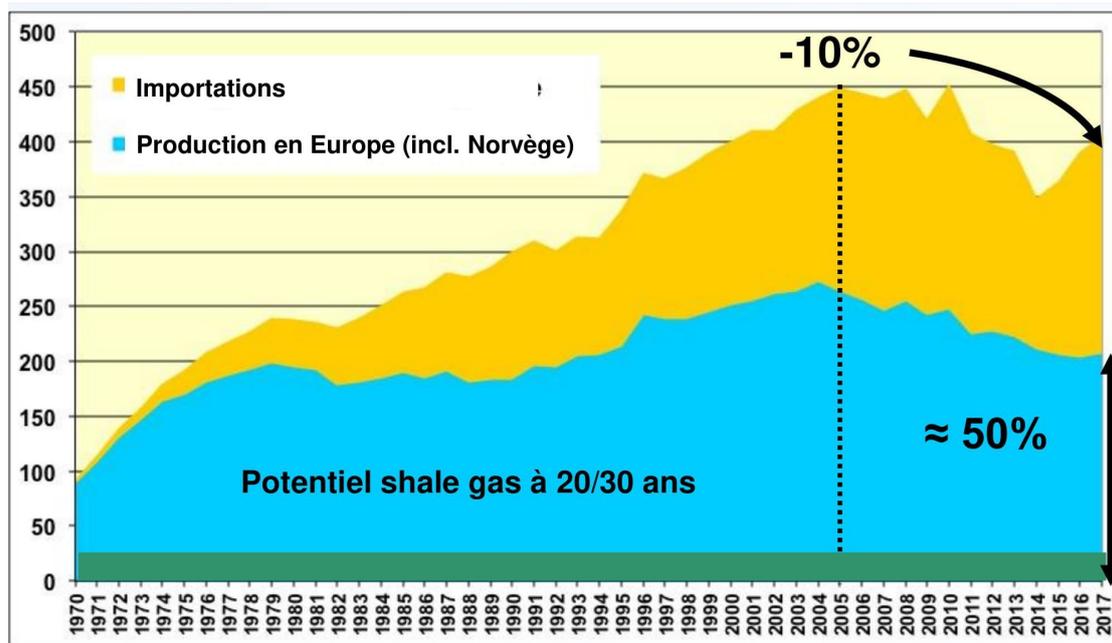
## 82. Plus de gaz? Sus aux gaz de schiste!



Diapositive 102.

Et quand on demande aux gens quand est-ce que pourrait être le pic de production du gaz, ils vous disent : « 2030–2040 », donc on est dans des eaux qui sont voisines.

### 83. Gaz à tous les étages ?



Evolution de l'approvisionnement en gaz UE+Norvège, en millions de tonnes équivalent pétrole par an, depuis 1965. Source Jancovici sur données BP Statistical Review, 2015

Diapositive 103.

En ce qui concerne l'Europe, aujourd'hui, encore la moitié de notre gaz vient de la mer du Nord. La mer du Nord a passé son pic en 2005, et regardez : la quantité de gaz consommée par les Européens, qui était en augmentation constante jusqu'au pic de la mer du Nord, se met à décliner depuis.

Alors vous allez me dire : « Ce n'est pas un problème. S'il n'y en a plus chez nous, il y en a encore chez les Russes. Faisons venir le gaz des Russes. » Sauf qu'il faut dix ans pour faire un gazoduc (Nord Stream 1). Et ça c'est dans un cas où ça se passe « bien ». Parce que les Allemands et les Russes ne sont quand même pas très loin via la Baltique, et qu'il y a moyen, en gros, de contrôler les états intermédiaires. Ce n'est pas toujours aussi simple, et de toute façon, encore une fois, il faut dix ans, donc c'est long.

Et là-dedans, vous avez la Norvège qui n'a pas passé son pic – on va le voir au prochain graphique. Mais quand elle va passer son pic, ça va se mettre à décliner beaucoup plus vite. En plus, les Russes, on les boycotte à cause des misères qu'ils font à je ne sais pas qui. Donc s'ils mettent des nouveaux gisements en

### 83. GAZ À TOUS LES ÉTAGES ?

production qui sont à équidistance des Chinois et des Européens, à votre avis, ils vont vendre le gaz à qui ? Ce n'est pas complètement sûr qu'ils nous le vendent à nous. Donc ne comptons pas trop sur les Russes pour les importations de gaz.

Où est-ce qu'on peut avoir du gaz ailleurs ? On peut avoir du gaz liquéfié. Il faut construire les trains de liquéfaction. C'est très long. Et dans le cas du gaz liquéfié, pour le coup, comme le bateau se balade partout, on est en concurrence avec les pays qui paient le plus cher. Qui paie le plus cher dans le monde le gaz liquéfié ? Les Asiatiques, au sens large, et les Japonais, en particulier. Donc si je suis Qatari et que je fais un train de liquéfaction de gaz, j'ai plutôt intérêt à m'entendre avec les Japonais qu'à m'entendre avec les Européens, puisque les Japonais paient à peu près deux fois plus cher.

Tout ça pour dire, donc, que ce n'est pas complètement sûr qu'on ait plein de gaz en Europe. Et indépendamment de tout problème de climat, tous les gens qui se disent : « On va remplacer n'importe quoi – le charbon, le nucléaire – par du gaz », il faut être sûr qu'on ait du gaz. À ce jour, je n'ai jamais vu un scénario électrique de remplacement du charbon et/ou du nucléaire par du gaz – encore une fois, indépendamment de toutes considérations carbone – couplé à la disponibilité possible en gaz en Europe dans ce contexte-là. Mais c'est quand même une question qu'il faut se poser.

Vous allez me dire une deuxième chose : « Il n'y a qu'à faire du shale gas chez nous. Pourquoi on ne ferait pas du shale gas chez nous ? » Il y a plusieurs raisons pour lesquelles on ne fait pas du shale gas chez nous. Vous savez peut-être – et sinon je vais vous apprendre quelque chose – qu'aux États-Unis, l'État n'est pas propriétaire du sous-sol. Dans tous les autres pays du monde, soit parce que ce ne sont pas des démocraties, auquel cas l'État est propriétaire de tout, soit même quand on est dans des démocraties – et qu'il y a un partage entre ce qui est dans le bien public, ce qui est dans la collectivité, et ce qui est chez vous –, l'État est propriétaire du sous-sol.

Donc si chez vous, dans le jardin de votre grand-mère, vous découvrez de l'or à 200 mètres de profondeur, mauvaise nouvelle : il n'est pas à vous. Donc il vaut mieux ne pas aller chercher parce que sinon ensuite vous êtes embêté avec la mine d'or. Ce n'est pas terrible et vous n'en avez pas les bénéfices. Vous êtes exproprié, donc vous n'avez aucun intérêt à aller chercher dans le fond de votre jardin s'il y a de l'or ou pas, à 200 mètres de profondeur. Aux États-Unis, le sous-sol, sans limitation de profondeur, appartient au propriétaire du sol. Du coup, pas de concession minière à demander à l'État.

Alors qu'en France, le régime est très simple. D'abord, il faut que quelqu'un vienne chercher l'or pour vous – parce que vous ne faites quand même pas

### 83. GAZ À TOUS LES ÉTAGES ?

ça avec votre lampe de poche. Donc ça veut dire qu'il faut qu'on accorde un permis d'exploration. Puis, si la personne qui explore trouve quelque chose, il faut qu'on lui accorde un permis d'exploitation. Et comme elle va devoir vous passer sur le corps puisque ce n'est pas chez vous à 200 mètres de profondeur, en gros, vous êtes exproprié. Donc une autorisation d'exploitation, en France, égale une expropriation. C'est long. Vous allez évidemment aller vous battre devant les tribunaux, parce que, quand même, le jardin de votre grand-mère a une valeur sentimentale !

Aux États-Unis, non. Votre grand-mère dit aux foreurs du coin : « Viens donc faire un trou dans mon jardin, et si tu trouves du pétrole on se partage le résultat. » C'est comme ça que ça marche. L'État n'a absolument pas son mot à dire. C'est le pays le plus troué du monde. Vous avez aujourd'hui 1,7 millions de puits de pétrole et de gaz en activité aux États-Unis. 1,7 millions. Ils font 100 000 trous par an, comme Gainsbourg, « Je fais des trous... » Enfin, la géologie s'y prête. Il se trouve qu'ils ont vraiment une roche-mère avec du gaz dedans.

Dernier point. Quand vous faites un trou quelque part, dans l'essentiel des États-Unis, tout ce que vous embêtez, ce sont des chiens de prairie ou des vaches. Vous n'embêtez personne. C'est un pays non peuplé, les États-Unis. Je veux dire que dans toute l'immensité du Texas, etc., il n'y a personne. Et puis c'est tout plat. Donc vous pouvez faire des pistes pour acheminer des camions et évacuer le pétrole que vous avez trouvé.

Alors maintenant, on va reprendre le cas de figure en France :

- Un puits égal une expropriation.
- C'est densément peuplé.
- Si vous trouvez du pétrole vous devez faire une piste pour évacuer avec des camions le pétrole que vous avez trouvé : vous avez évidemment 452 rivières que vous allez embêter en faisant ça. Si vous n'avez pas de rivières, c'est que vous êtes en zone montagneuse, et donc ça va vous coûter très cher de faire les pistes, etc.

Bref ! Donc les gens qui pensent que le shale gas va être un Eldorado dans les pays européens, à mon avis, je parie toutes mes économies contre eux que ça ne sera jamais le cas. Peut-être qu'on peut en faire sortir... Si on en fait sortir, l'ordre de grandeur de ce qui sort, c'est ça [Zone verte sur le graphique]. Donc la probabilité que ce soit quelque chose qui va changer fondamentalement les ordres de grandeur en Europe est, de mon point de vue, à peu près nulle.

### 83. GAZ À TOUS LES ÉTAGES ?

\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« A quelle profondeur on est propriétaire en France ? »

Il me semble que c'est 10 mètres. Je ne veux pas vous dire de bêtises, mais il me semble.

\*\*\* Intervention auditoire \*\*\*

« C'est 2 mètres. »

2 mètres ? Vous êtes sûr ? Parce que les racines d'un chêne, ça va plus profond quand même. Ce n'est pas beaucoup en tout cas. On pourrait lancer les paris, mais 2 je ne suis pas sûr. Enfin, c'est de cet ordre-là.

\*\*\* Question auditoire \*\*\*

« Et on ne peut pas extraire du gaz dans la mer ? »

Alors, du gaz dans la mer, bien sûr : sous la mer. Oui, comme le pétrole : offshore. La mer du Nord, c'est essentiellement de l'offshore.

\*\*\* Question auditoire \*\*\*

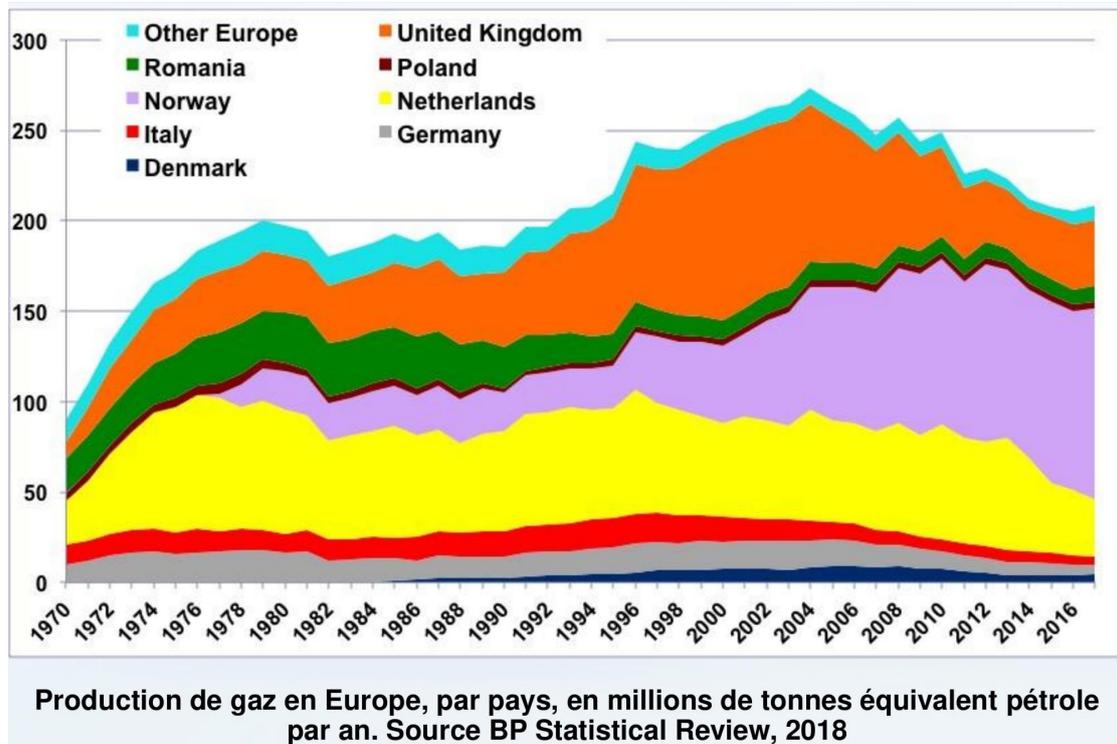
« Et pourquoi en France on ne fait pas cela ? »

Parce qu'en France, vous n'êtes pas sous la mer. En Guyane par exemple – si vous lisez un peu la presse – Total a exploré pour trouver du pétrole, a trouvé du pétrole, et il y a eu toute une controverse dans laquelle Hulot a un peu râlé sur l'exploitation ou non de ce pétrole au large de la Guyane.

Donc, bien sûr qu'on cherche dans la mer aussi. Alors, après, pour qu'on trouve du pétrole et du gaz, je le répète, il faut que vous soyez dans une zone sédimentaire. Si vous êtes dans une zone volcanique, par exemple, ça ne marche pas bien. Or la Martinique et la Guadeloupe, sauf erreur de ma part, c'est volcanique. Donc la probabilité que vous trouviez beaucoup de pétrole là-bas n'est pas très élevée.

Voilà, donc ça dépend de ce que vous avez comme possession d'outre-mer. Vous avez pas mal de pétrole et de gaz dans le Golfe du Gabon – le golfe qui est à l'ouest de l'Afrique de l'Ouest. Et là, vous avez des explorations offshore. Donc, vous faites des plate-formes d'exploitation, et, comme je le disais tout à l'heure, comme vous n'avez pas de gazoducs qui flottent à la surface de la mer, les exploitations de gaz offshore vous produisent nécessairement du gaz liquéfié que vous extrayez par méthaniers. Et la bête coûte 10 milliards pièce – pas le méthanier, mais la plate-forme.

## 84. Tout le monde ne pique pas en même temps

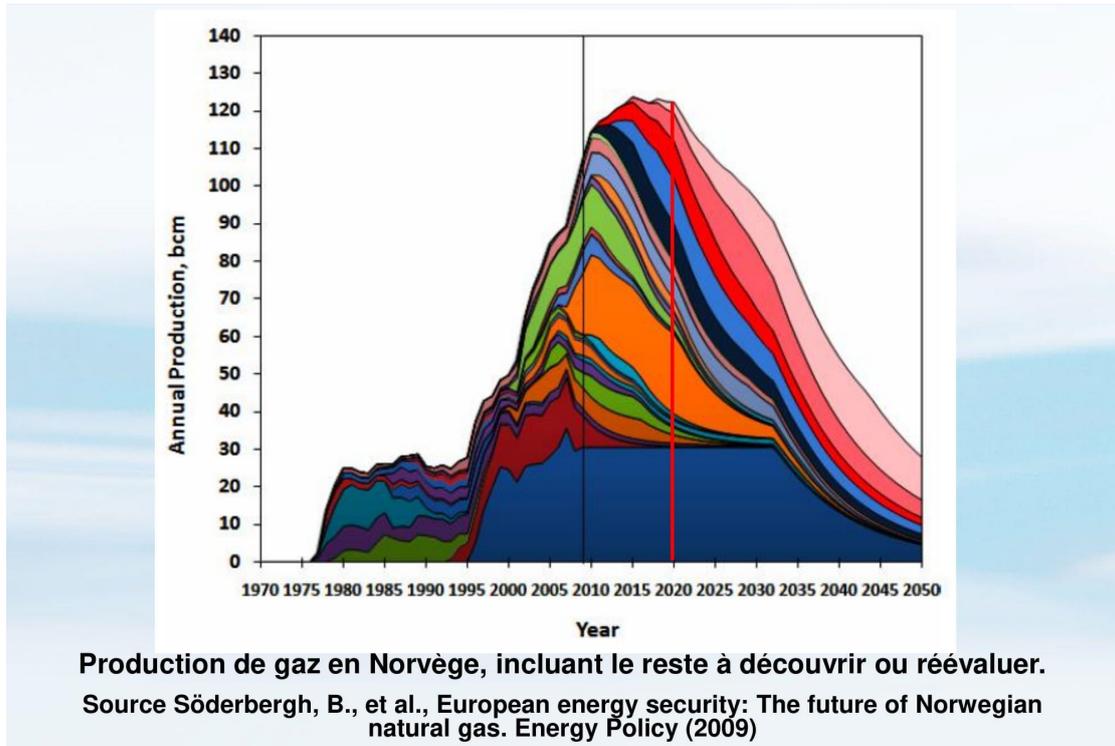


Diapositive 104.

Je vous parlais du gaz. Voilà la production de gaz, par pays, dans la mer du Nord. Vous voyez que le seul pays qui n'a pas passé son pic, c'est la Norvège. Et le pic de la Norvège est attendu pour 2020 – plus ou moins quelque chose.

Ici, vous avez une histoire « marrante » : la décompression des champs de gaz souterrains – qui eux sont à terre dans les Pays-Bas – crée des micro-fractures et des micro-tremblements de terre en quantité croissante. Et donc le gouvernement hollandais a décidé délibérément de diviser par dix l'extraction de gaz de ses champs pour éviter des affaissements en quantité croissante. Avec, évidemment, les riverains au-dessus qui ne sont pas très contents.

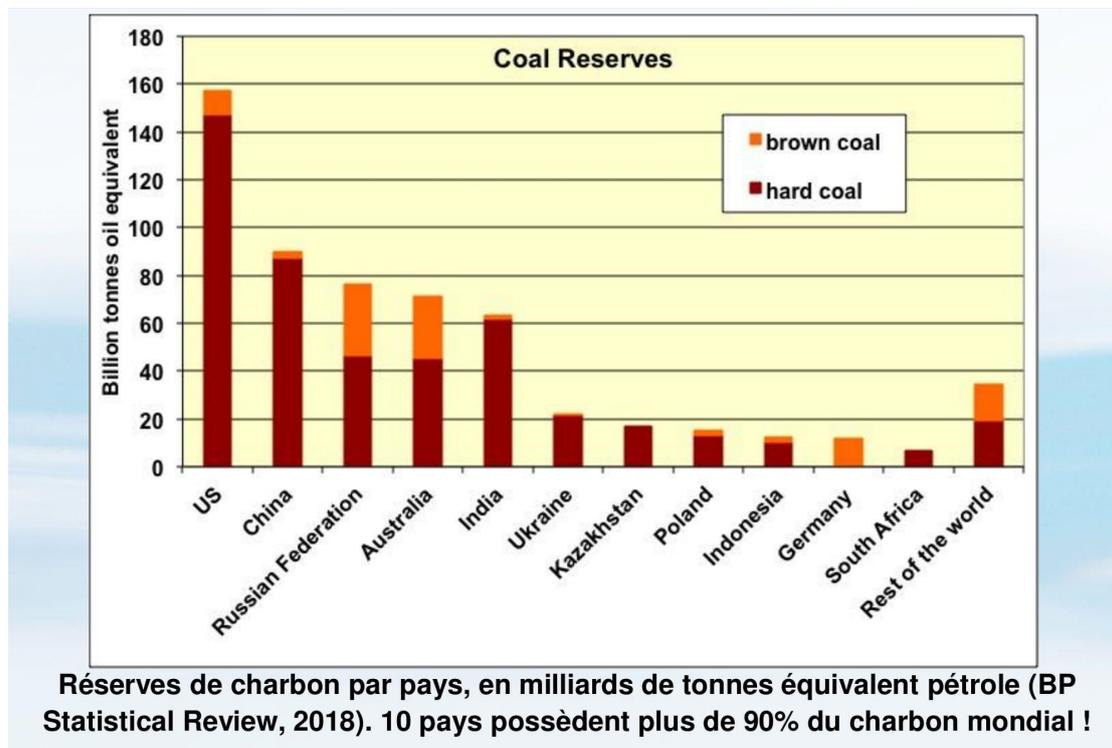
## 85. Vers le haut... puis vers le bas



Diapositive 105.

Voilà, donc ici vous avez la production de gaz de la Norvège telle qu'elle est simulée par un certain nombre de gens.

## 86. Le problème se complique encore !



Diapositive 106.

Après il vous reste le charbon !

Alors, je vous le dis et je vous le répète : le charbon est une énergie domestique. Et le charbon sert essentiellement à produire de l'électricité.

Soit dit en passant, une des raisons pour lesquelles la Chine met tant l'accent sur la voiture électrique, ce n'est pas que chez elle, avec sa production d'électricité au charbon, on gagne énormément sur le CO<sub>2</sub>, ni même sur les particules fines – encore qu'elles sont émises ailleurs –, mais c'est que ça a déjà comme avantage de passer d'un pétrole importé à un charbon domestique. Donc avant même d'être un sujet de CO<sub>2</sub>, c'est un sujet de souveraineté énergétique, entre autres sujets. C'est aussi un sujet de renouveau industriel.

Donc, ici vous avez du charbon, et là vous avez les réserves prouvées – donc telles que déclarées – de charbon des dix premiers détenteurs de réserves dans le monde. Alors, il faut savoir que ces dix pays possèdent plus de neuf dixièmes du charbon dans le monde. Donc le charbon est éventuellement bien réparti par continent, mais il est extrêmement mal réparti par pays.

## 86. LE PROBLÈME SE COMPLIQUE ENCORE!

*Alors, comme par ailleurs – on le verra pendant les cours sur le climat – le charbon est l'énergie qui est la plus émissive de CO<sub>2</sub> par kilowattheure, et que par ailleurs, c'est la ressource fossile dont la quantité restante extractible « à n'importe quel prix » est la plus importante, on va dire dès maintenant – je le redirai la prochaine fois – que l'avenir climatique du monde est notamment dans les mains de ces dix pays-là.*

Parce que c'est eux qui décident ou non, de façon souveraine, d'utiliser leur charbon chez eux. Puisque encore une fois, le charbon est une énergie qui s'utilise chez soi. Donc la quantité de charbon de ces pays-là et l'utilisation qu'ils vont en faire, c'est un des déterminants majeurs de ce qui va se passer en ce qui concerne le climat.

Alors vous voyez que les trois premiers détenteurs de réserves, ce sont les deux frères ennemis de toujours : la Russie et les États-Unis – avec au milieu la Chine. Et une fois que vous avez l'Australie et l'Inde, vous avez quand même environ 70 à 75% du charbon mondial.

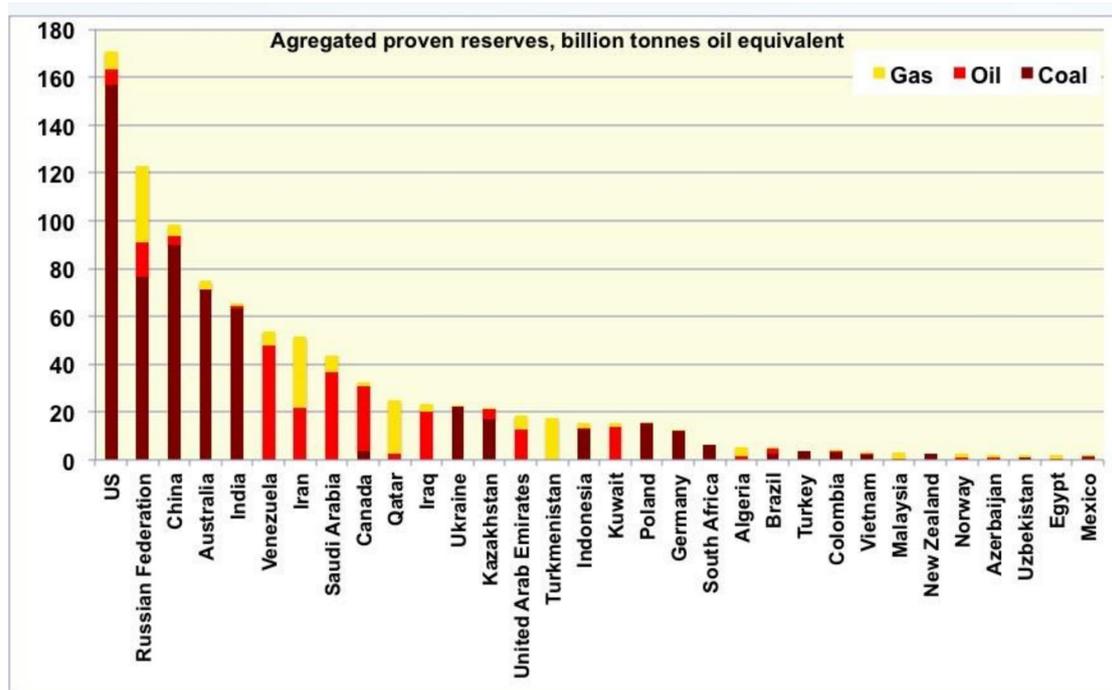
Après, vous avez deux types de charbon. En marron foncé, vous avez ce qu'on appelle le « hard coal » en anglais – ou la « houille » et l'« anthracite » en français (ou le charbon vapeur, plus exactement) – qui sont des charbons à haute teneur en carbone et qui sont des charbons anciens. Donc ce sont des charbons qui sont descendus (en général) bas sous terre, qui s'exploitent en galeries souterraines, et qui sont allés au bout de leur processus de pyrolyse. Donc ils sont riches en carbone, pauvres en cendres et pauvres en éléments volatils.

Quand le charbon est jeune, c'est l'exact inverse. Il est riche en éléments incombustibles, riche en eau et il est près de la surface. Et à ce moment ça s'appelle? Alors la tourbe c'est vraiment du charbon très très jeune. Mais sinon ça s'appelle du charbon allemand, c'est-à-dire? Du lignite, exactement. Et ce charbon-là s'exploite non pas en galerie mais en mine à ciel ouvert.

Et donc, pour ceux d'entre vous qui ont envie – et même ceux qui n'ont pas envie, parce que c'est intéressant à regarder – prenez un coup de Google Maps et allez regarder à quoi ressemblent – vues de l'espace – les mines de lignite allemandes. Ça vous fait des gros trous quand même, des grosses taches : un gros truc de 5 km sur 5 km. Et la mine à ciel ouvert de Hambach – si ma mémoire est bonne – est une des mines à ciel ouvert qui descend le plus bas au monde. Elle est quasiment 300 mètres sous le niveau de la mer. Et c'est là-dedans aussi que vous avez la plus grosse excavatrice de charbon au monde – un truc qui fait, je ne sais pas : 100, 150 mètres de haut, 200 mètres de long : un truc absolument monstrueux.

Donc, le charbon, retenez que ce sont ces pays-là qui en ont le plus.

## 87. Et qui arrive en tête des réserves de carbone ?



Réserves prouvées gaz+pétrole+charbon. Données BP Statistical Review, 2018

Diapositive 107.

Et si maintenant je finis cet exposé en agrégeant charbon, pétrole et gaz : voilà à quoi ressemblent les réserves mondiales. Donc, ce que vous voyez, c'est que *dans les réserves mondiales, ce qui domine, c'est le charbon.*

Vous voyez que les plus gros détenteurs de pétrole au monde. . . Le Venezuela c'est vraiment très particulier, parce que comme je le disais, c'est une grosse baignoire mais avec un tout petit robinet. Si je prends l'Arabie Saoudite : l'Arabie Saoudite est un nain de jardin à côté du charbon possédé par les Américains.

Alors, il se trouve qu'en ce moment, on assiste depuis 10 ans à quelque chose de très amusant aux États-Unis. Les États-Unis sont en train de diminuer la quantité de charbon qu'ils utilisent. Est-ce que vous savez pourquoi? Ce n'est pas du tout parce qu'ils veulent le garder pour plus tard. À cause du gaz. Ce qui s'est passé aux États-Unis, c'est que l'explosion de l'exploitation de gaz de roche-mère – shale gas – a divisé les prix du gaz par 3. Et du coup, a rendu les centrales à gaz plus compétitives que les centrales à charbon. Et donc les opérateurs basculent du charbon au gaz.

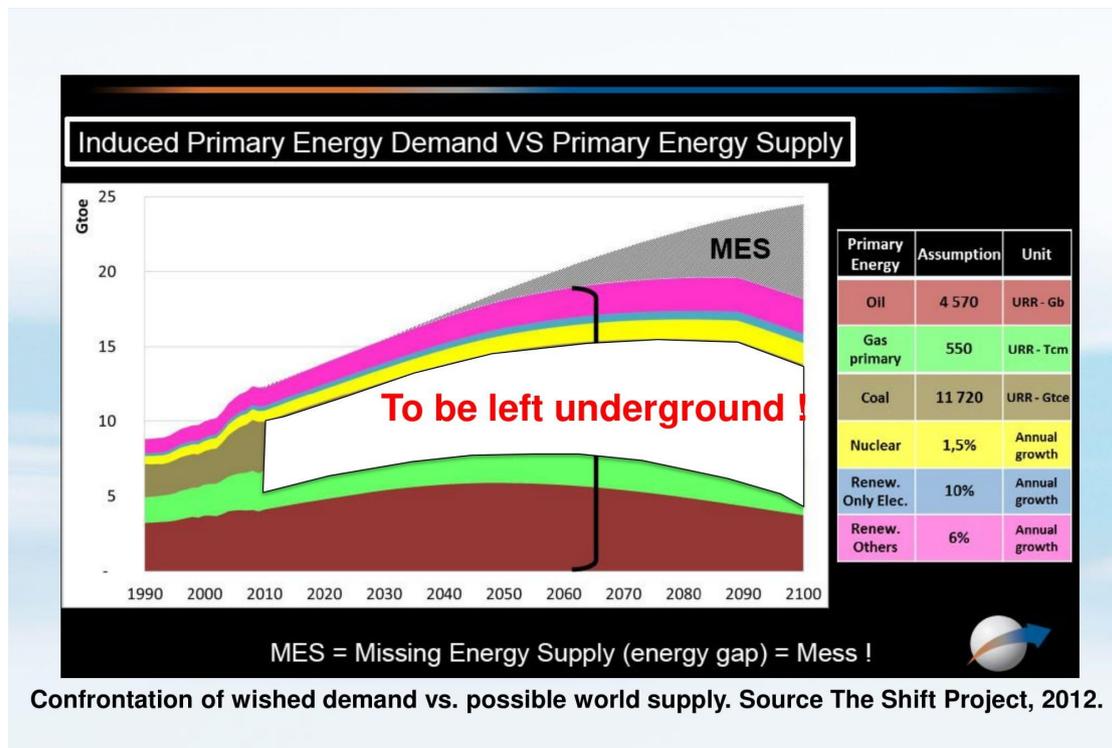
## 87. ET QUI ARRIVE EN TÊTE DES RÉSERVES DE CARBONE ?

Et, pas plus tard qu'il y a quelques jours, il y a une petite information qui est parue, en disant que, sous présidence Trump, il y avait cinquante centrales à charbon qui avaient fermé aux États-Unis – c'est-à-dire beaucoup plus que sous présidence Obama équivalente. Ce qui montrait, soit dit en passant, deux choses – mais on va y revenir dans les cours suivants. C'est que :

1. Les déterminants de l'action ne sont pas nécessairement uniquement dans le discours présidentiel. En fait, ils sont un peu partout sauf dans le discours présidentiel, à court terme, en général. C'est la vie, c'est comme ça.
2. Il faut se méfier de ce qui se passe à la surface des vagues, parce que parfois, il se passe des trucs en-dessous qui sont beaucoup plus déterminants.

Donc, aux États-Unis, l'élément vraiment déterminant, ça a été l'effondrement du prix du gaz et donc le basculement du charbon vers le gaz dans la génération électrique.

## 88. Let's pile everything up



Diapositive 108.

Alors, une fois que j'ai fini ça, voilà ce que, mis bout-à-bout – dans un projet qu'on avait mené au Shift il y a quelques années –, on se disait qu'on pouvait avoir comme approvisionnement maximal, au cours du temps, si on prend comme seule contrainte la géologie.

Dit autrement, je me dis : « Je ne viens pas au cours d'après, ni au cours d'encore après; le climat je m'en fous complètement; tout ce qui compte, c'est combien je peux en sortir du sous-sol et mon théorème de Rolle; le reste je m'en fous. » Et donc, je vais regarder quelle est la limite haute de mon approvisionnement avec mes seules contraintes géologiques.

Alors, la réponse : vous avez quelque chose qui ressemble à ça, sur le graphique que je vous montre. Dit autrement, la magie des exponentielles... Vous vous rappelez de cette blague sur les exponentielles? On vous a probablement déjà fait cette blague : vous avez une mare dans laquelle les nénuphars doublent de surface tous les jours, vous la connaissez? Vous ne la connaissez pas? Vous avez une mare dans laquelle les nénuphars doublent de surface tous les jours.

## 88. LET'S PILE EVERYTHING UP

Et il a fallu trente jours pour que les nénuphars occupent la moitié de la surface de la mare. Combien de temps reste-t-il avant qu'ils occupent toute la surface? Réponse : un jour.

La magie des exponentielles fait que, même si vous déplacez un peu vers le haut les ressources extractibles de ces combustibles fossiles, vous ne décalez pas le pic de 45 ans + 37 supplémentaires. La magie des exponentielles fait que le pic joue à quelques décennies, tout au plus, en fonction des hypothèses même très, très favorables que vous pourriez prendre sur la quantité totale de ressources extractibles – sur les réserves ultimes.

Donc, ce que je suis en train de vous dire, c'est que d'ici à ce que vous passiez de vie à trépas – si votre espérance de vie est bien de 80 ans et quelques à la naissance – il est assez vraisemblable que vous vivrez – quelle qu'en soit la cause – le pic de production mondiale du pétrole, du gaz, et vraisemblablement du charbon.

Et je vais finir – pour introduire le cours de la prochaine fois – en disant qu'en plus, si on se soucie du climat, il est souhaitable que ça arrive demain matin. Dit autrement, la contrainte climat – si on veut respecter les fameux 2°C dont vous avez tous entendu parler maintenant – est plus dure que la contrainte géologique sur la quantité de combustibles fossiles que nous avons le droit de sortir du sol et d'utiliser. Il n'empêche que cette voiture-balai existe quand même, et donc il n'existe pas d'émissions de CO<sub>2</sub> qui pourraient croître indéfiniment. Et donc tout le cours que je vous ai donné aujourd'hui, il porte sur où est la voiture-balai si on se fiche du climat. En gros, c'est ça l'idée.

Voilà, eh bien à la prochaine fois.

*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](mailto:contact-shifters@theshiftproject.org).