

II - LES ÉNERGIES FOSSILES



Chapitre 08 - Les énergies fossiles et leurs usages dans le monde et en France

▶ <https://youtu.be/DggbEkyGXxc>

Chapitre 09 - Genèse des hydrocarbures

▶ <https://youtu.be/uE2TJ2X61lw>

Chapitre 10 - Production et extraction des hydrocarbures

▶ <https://youtu.be/nHwEwd6YFjU>

Chapitre 11 - Les réserves

▶ <https://youtu.be/sPAa1fI2KU>

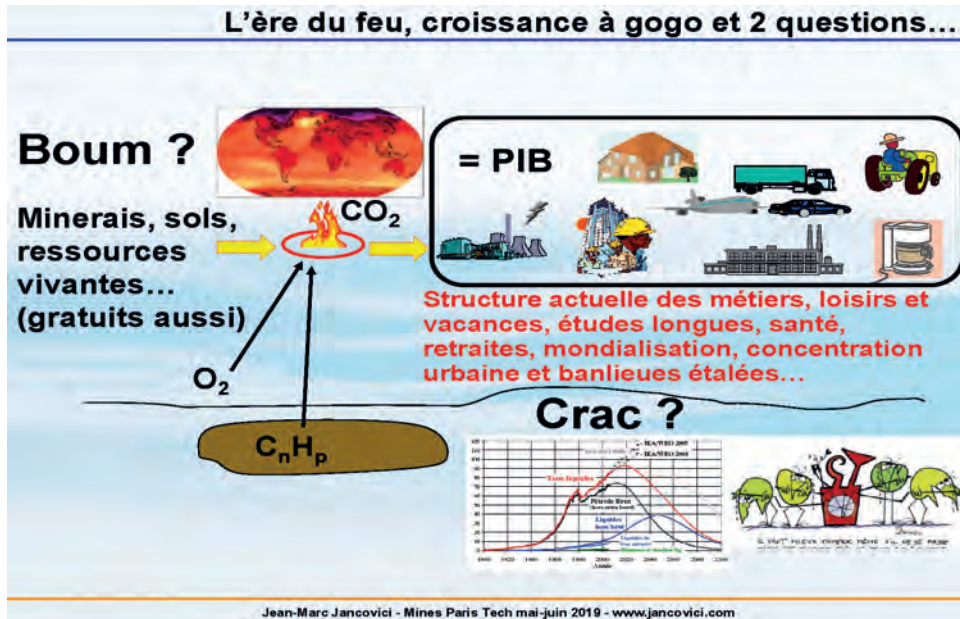
Chapitre 12 - Pic pétrolier

▶ <https://youtu.be/GWIProNvd7I>

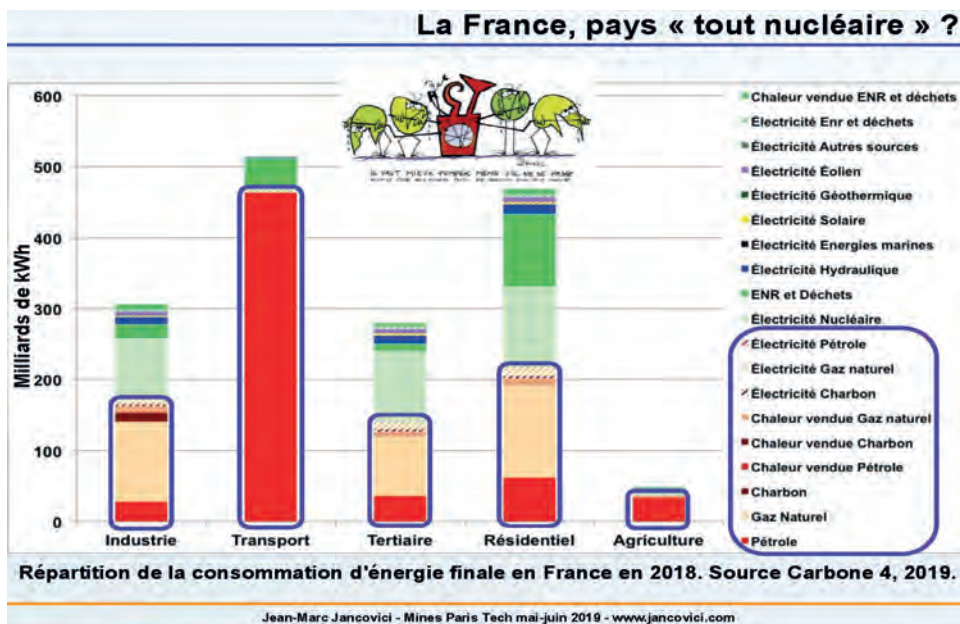
Chapitre 13 - Prospectives

▶ <https://youtu.be/8DrLyV9lZKc>

Chapitre 08 - Les énergies fossiles et leurs usages dans le monde et en France



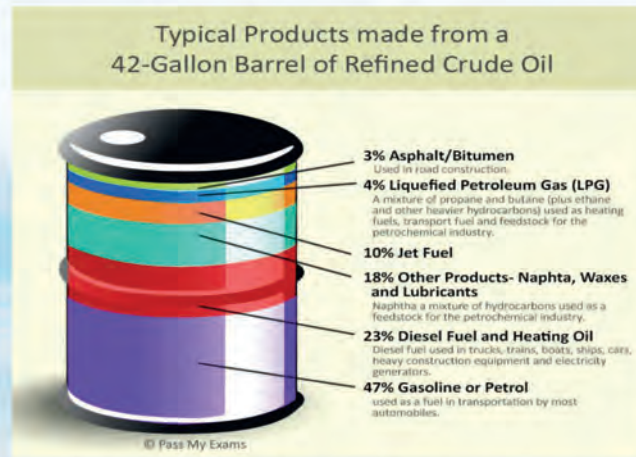
SPECIFICITE DE LA FRANCE



- Spécificité française dans l'approche de la question énergétique
 - > focalisation sur le nucléaire
 - > alors que l'essentiel de l'énergie finale (= qui passe un compteur / payante) qui alimente l'exosquelette de la société est comme ailleurs dans l'OCDE
 - provient des énergies fossiles
 - est constitué d'un vecteur (carburants liquides, électricité faite avec du gaz, gaz final pour le chauffage, très peu de charbon...) qui a été fabriqué à partir d'énergies fossiles
- Charbon = 10% des émissions de CO2 de la France
- l'électricité qui provient du nucléaire
 - dans le résidentiel, approvisionnement énergétique en nucléaire et en bois sont du même ordre de grandeur
- Dans les énergies fossiles, ce qui domine est comme partout ailleurs dans l'OCDE, c'est le pétrole

LE PETROLE

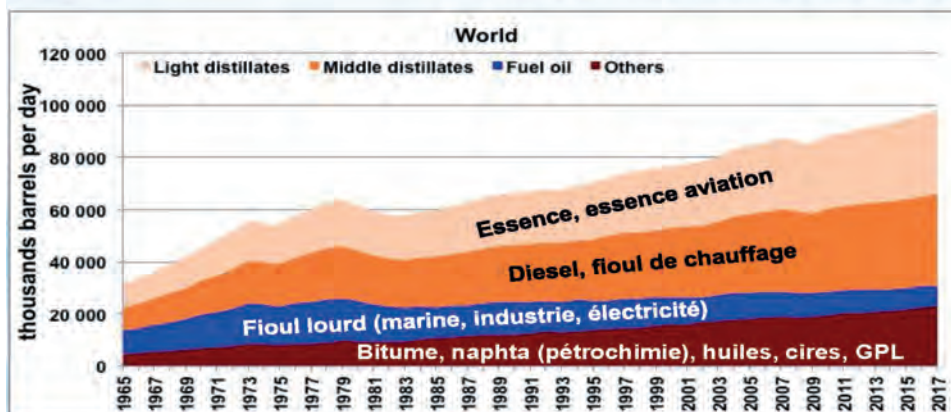
Du pétrole, pourquoi faire ?



Type de produits obtenus à partir d'un baril de pétrole

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Du pétrole, pourquoi faire ?



Répartition de la consommation de produits distillés dans le monde depuis 1965. Données BP Statistical Review, 2018

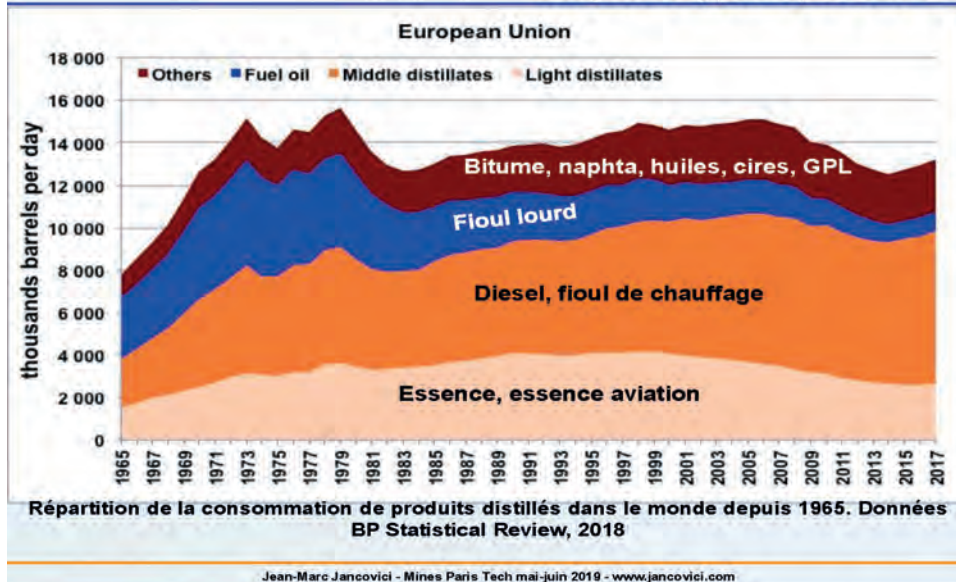
Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

- Différents usages du pétrole (raffiné) :
 - naphta (base de la pétrochimie), cires & huiles 18%
 - Gaz de pétrole liquéfié 4%
 - essence 47%
 - kérosène 10%
 - diesel et fioul de chauffage 23%, essentiellement diesel
 - bitumes (3%)
 - coke de pétrole (résidu solide en fin de distillation et qui sert à alimenter en grande partie la colonne de distillation)

La consommation

- dans le monde des produits du pétrole est en augmentation
- et stagne en Europe, sous stress d'approvisionnement depuis 2005

Du pétrole, pourquoi faire ?



L'essentiel de ce que consomme l'UE en matière de produits raffinés est pour une bonne part

- de l'essence et du kérosène
- du diesel et du fioul (baisse de la consommation de fioul lourd sensible depuis fin des années 70 : de moins en moins de fioul pour produire de l'électricité et le remplacement du fioul par du gaz dans l'industrie)

Cause du développement du diesel en France à la suite des chocs pétroliers

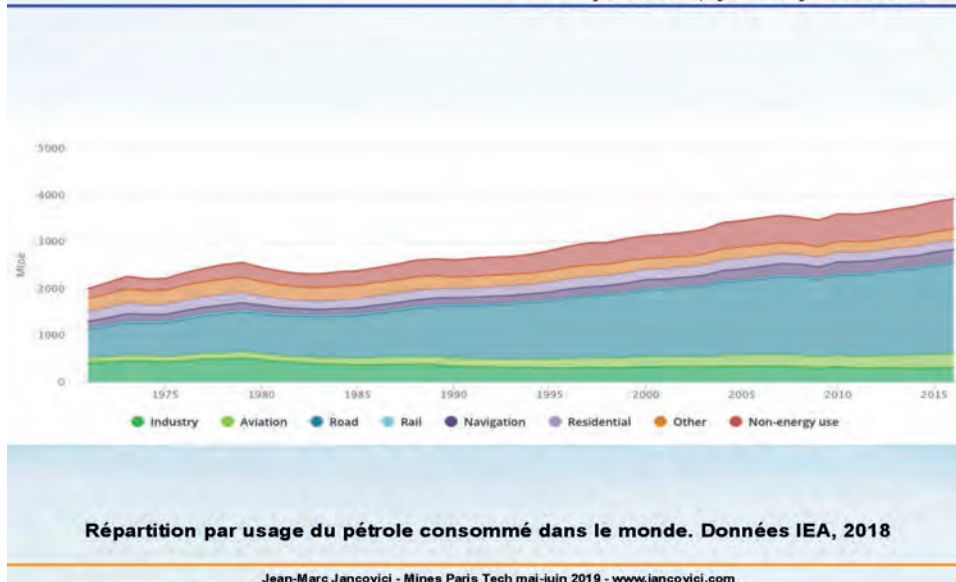
- baisse de la consommation du fioul résidentiel pour se chauffer

- fioul surabondant en sortie de raffinerie + prix de l'essence en forte hausse

=> rééquilibrage : produire du diesel pour baisser la production de fuel et faire face à la "pénurie" d'essence

=> situation actuelle : si interdiction diesel, une partie de la production des raffineries restera inutilisée, d'autant plus que la distillation d'une raffinerie ne se change pas facilement

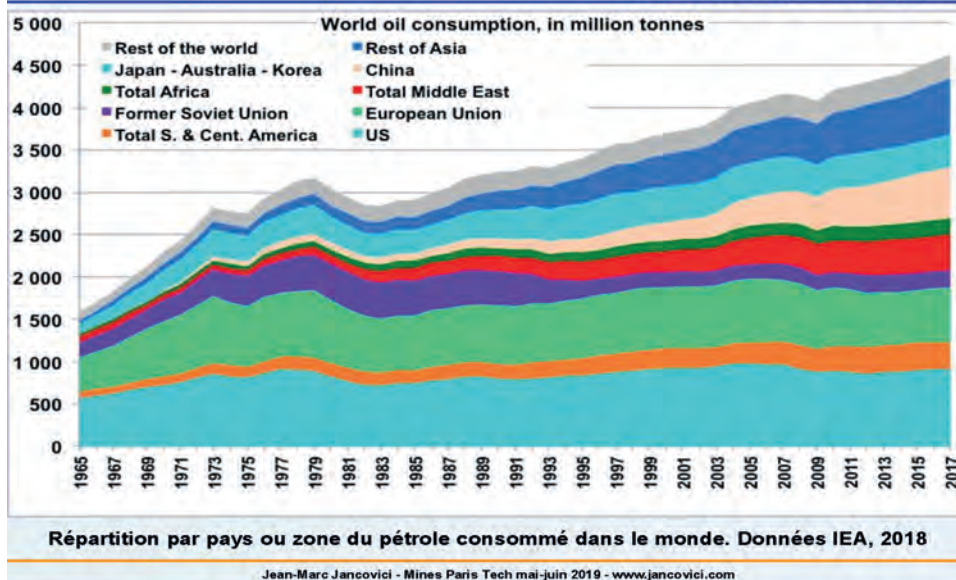
Du pétrole, pourquoi faire ?



Usages des produits raffinés dans le monde :

- les transports et en particuliers routiers = 1er poste et en plus forte augmentation
 - 98% du déplacement planétaire est fait avec du pétrole
 - ce pourquoi le pétrole est l'énergie de la mondialisation : pas de mondialisation sans pétrole
- Répartition de la consommation de pétrole dans le monde

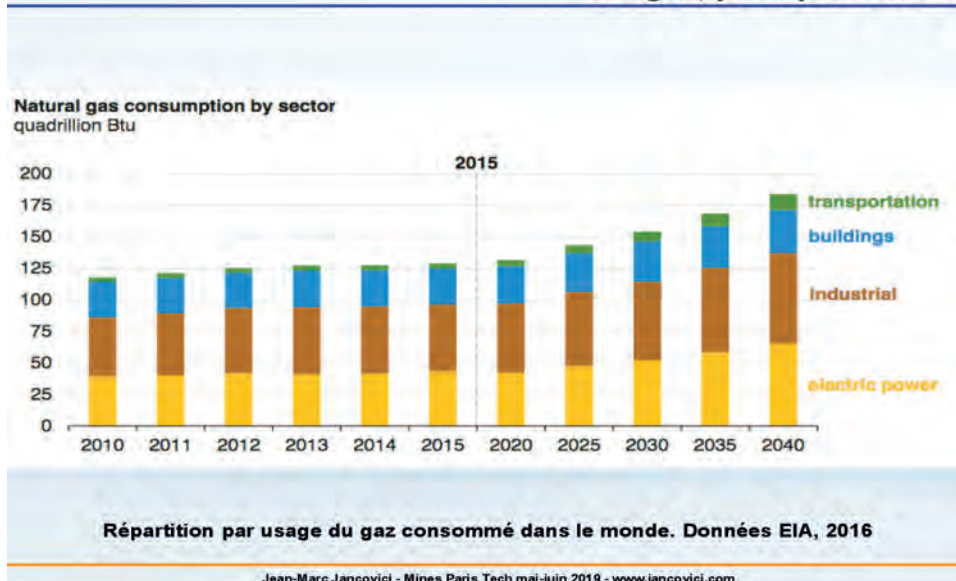
Du pétrole, chez qui ?



- Etats-Unis : consommation constante et le premier consommateur mondial (presque 20% du pétrole mondial consommé par 5% de la population mondiale)
- essor de la consommation chinoise depuis les années 90, en voie de dépasser l'UE

LE GAZ

Du gaz, pourquoi faire ?



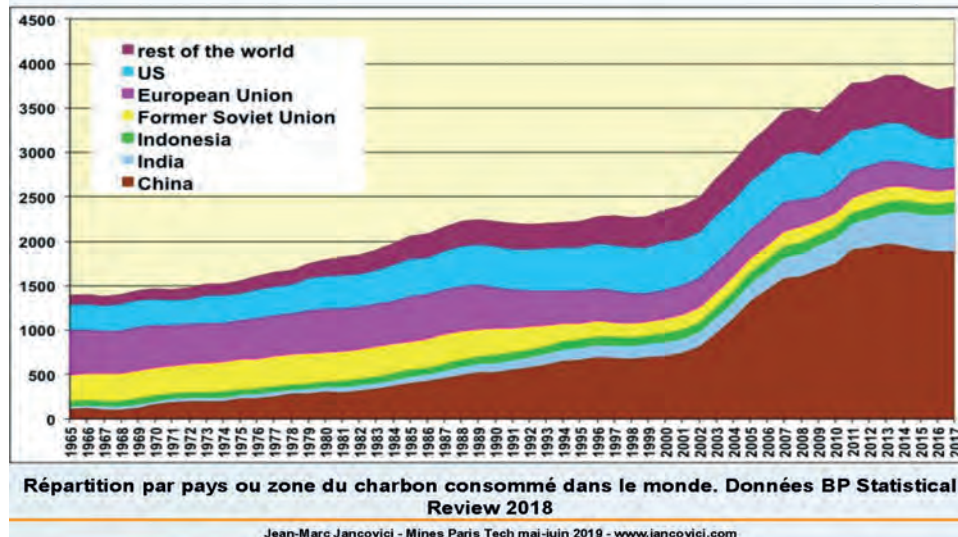
Usages :

- 01 • production d'électricité
- 02 • industrie
- 03 • bâtiment (= chauffage)
- 04 • transport

En France le 03 domine de très loin : 60% du gaz consommé pour le chauffage

LE CHARBON

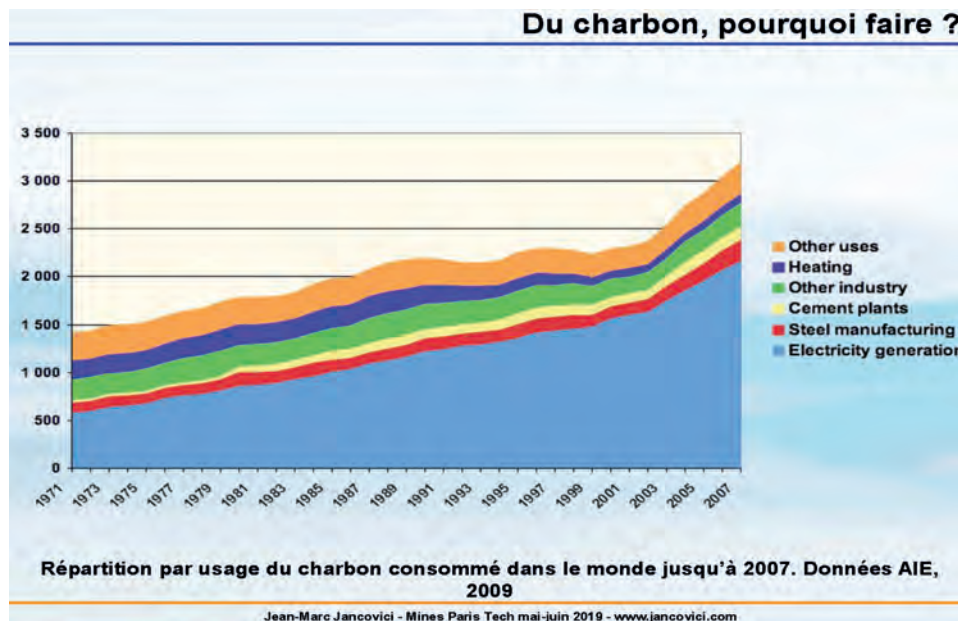
Du charbon, chez qui ?



Répartition des consommateurs

- Chine 1er consommateur largement en tête devant l'Inde puis les Etats-Unis
- la Chine utilise la moitié du Charbon extrait
- en augmentation rapide depuis les années 70 avec accélération brusque au début des années 2000 (essor industriel de la chine)
- modèle Coréen identique : a multiplié ses émissions de CO2 par 27 entre 1965 et 2019

Du charbon, pourquoi faire ?



Usages

- production d'électricité (2/3)
- aciéries (15%)
- cimenteries
- industries diverses
- chauffage
- usages divers

RAYONNEMENT GEOGRAPHIQUE DES ENERGIES FOSSILES INEGAL

- la seule énergie mondiale, pour des raisons de physique (la plus dense par unité de volume, 10 kw/h dans 1 litre et très facilement stockable), est le pétrole (plus des 2/3 de la production mondiale qui passe une frontière entre le pays de production et le pays de consommation)
- le gaz voyage peu : 30% passe une frontière, --- dont 10% sur les 30 qui transitent sous forme de gaz liquéfié (via des méthaniers qui peuvent avoir des clients différents)

--- 20% du gaz a par conséquent un trajet fixe via des pipelines

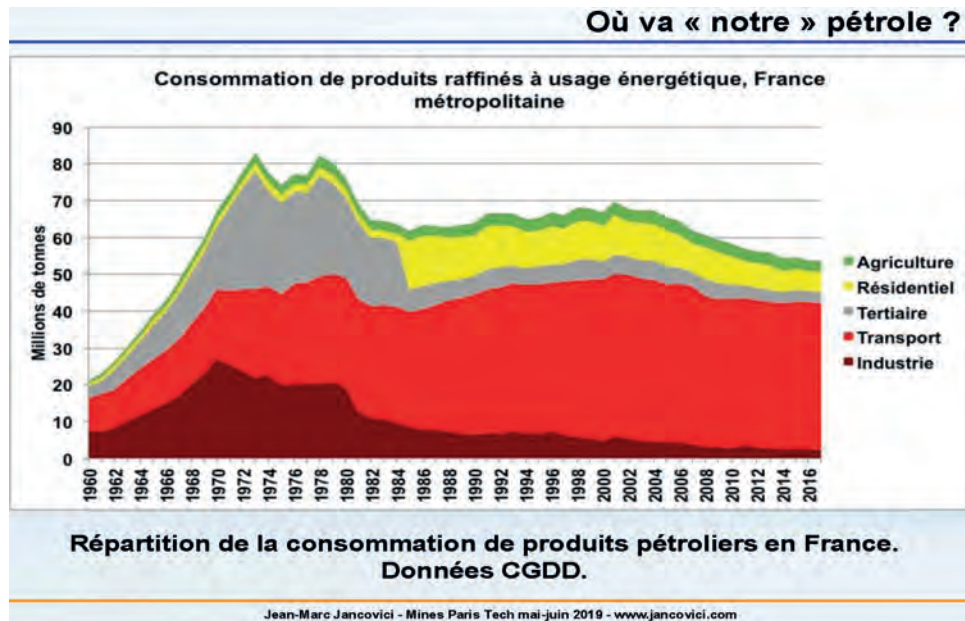
--- 1 producteur / 1 consommateur : configuration qui explique que le prix du gaz a été calé sur le prix du pétrole, afin d'échapper aux aléas entre contractants

• le charbon (hors charbon métallurgique, à très haute teneur en carbone et qui sert à faire du coke puis de l'acier, qui coûte cher car provenant des quelques rares mines dans le monde)

--- 10 % seulement du charbon passe une frontière entre le pays de production et le pays de consommation

--- charbon = énergie domestique

CONSOMMATION DES ENERGIES FOSSILES EN FRANCE



PETROLE

- 01 - Transport
- 02 - Résidentiel
- 03 - Agriculture
- 04 - Tertiaire
- 05 - Industrie

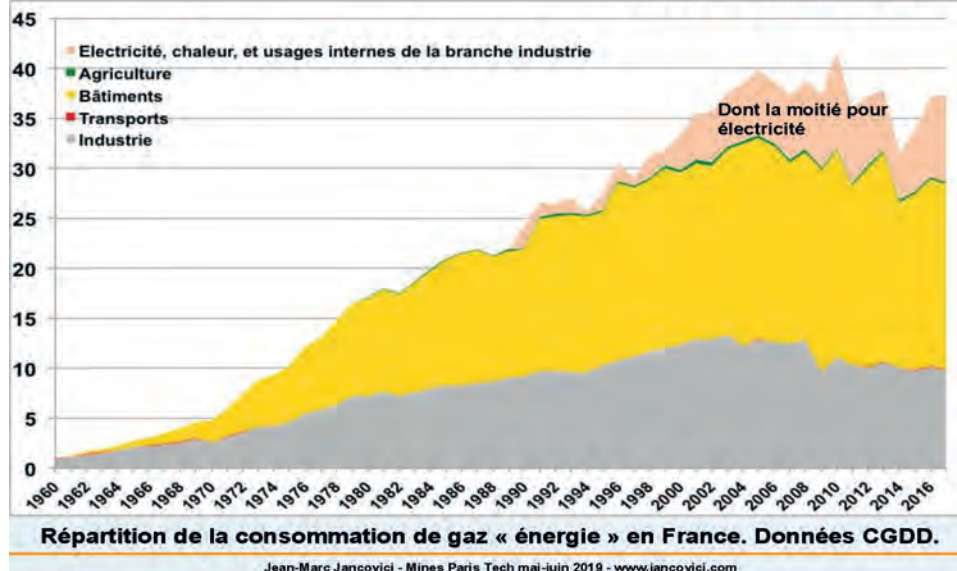
> très forte augmentation du pétrole jusqu'aux chocs pétroliers

> les chocs pétroliers redistribuent complètement les usages

- forte baisse industrie, chauffage résidentiel et tertiaire (remplacement par du gaz et de l'électricité nucléaire)

- aujourd'hui l'essentiel de la consommation de pétrole est pour les transports

Où va « notre » gaz ?



GAZ

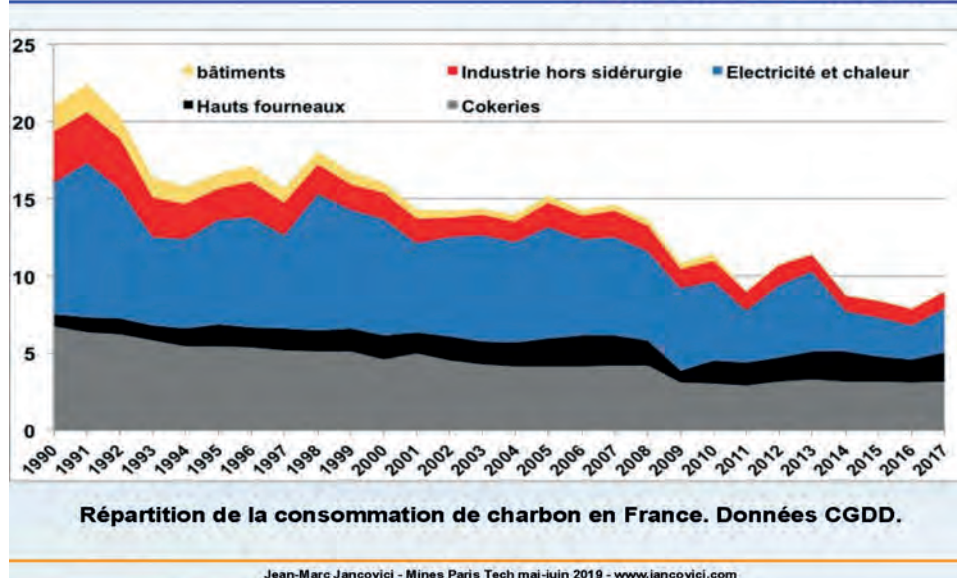
- 01 • Chauffage / bâtiments
- 02 • Industrie
- 03 • Electricité

> depuis que la Mer du Nord a passé son pic de production (2005, 60% de l'approvisionnement européen), la consommation de gaz en France a arrêté de croître

> globalement en décroissance pour le chauffage et l'industrie

> aujourd'hui approvisionnement de la Mer du Nord 50% de l'Europe

Où va « notre » charbon ?



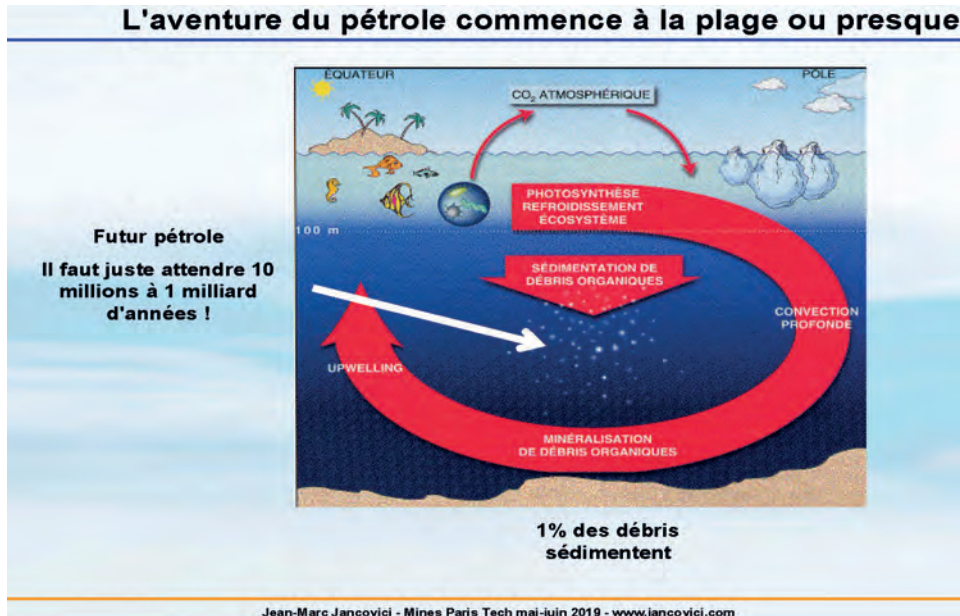
CHARBON

- 01 • Sidérurgie (hauts fourneaux et cokeries, fabrication de coke / carbone quasi pure à partir du charbon), plus de 50%
- > diminution par 2 depuis 20 ans
- > 240 PET consommation primaire de la France en énergie, le charbon = moins de 10

Chapitre 09 - Génèse des hydrocarbures

Formation des énergies fossiles

L'aventure du pétrole commence à la plage ou presque

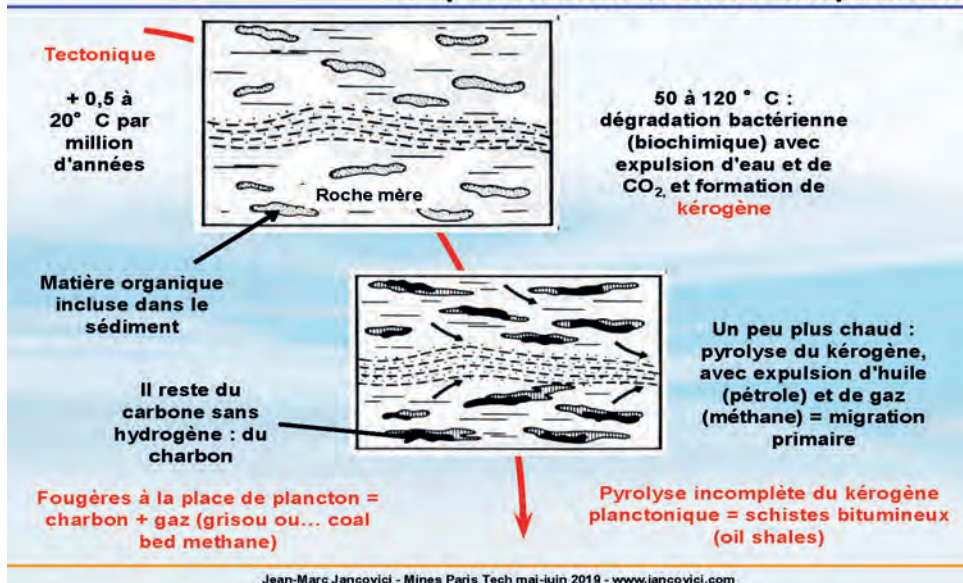


PETROLE

> de 10 millions à plusieurs centaines de millions d'années

> processus gratuit

Le pétrole aime la cuisson à petit feu

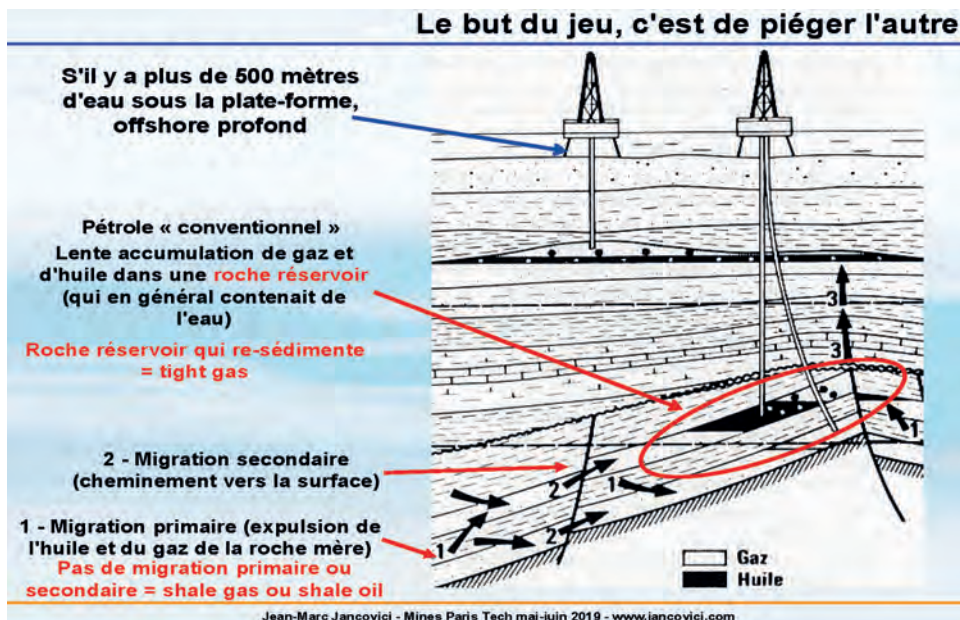


Phase 01 : chute

- planctons et algues qui pour une petite partie (1%) finissent sur le plancher océanique (l'autre partie étant décomposée dans la colonne d'eau)
- à proximité des côtes, là où est la vie la plus intense et où le plancher océanique est le moins profonde

Phase 02 : mélange

- sur le planche océanique mélange avec des sédiments minéraux (poussières amenées par le vent, alluvions amenés par les rivières, coquilles des planctons ...)
- compactage

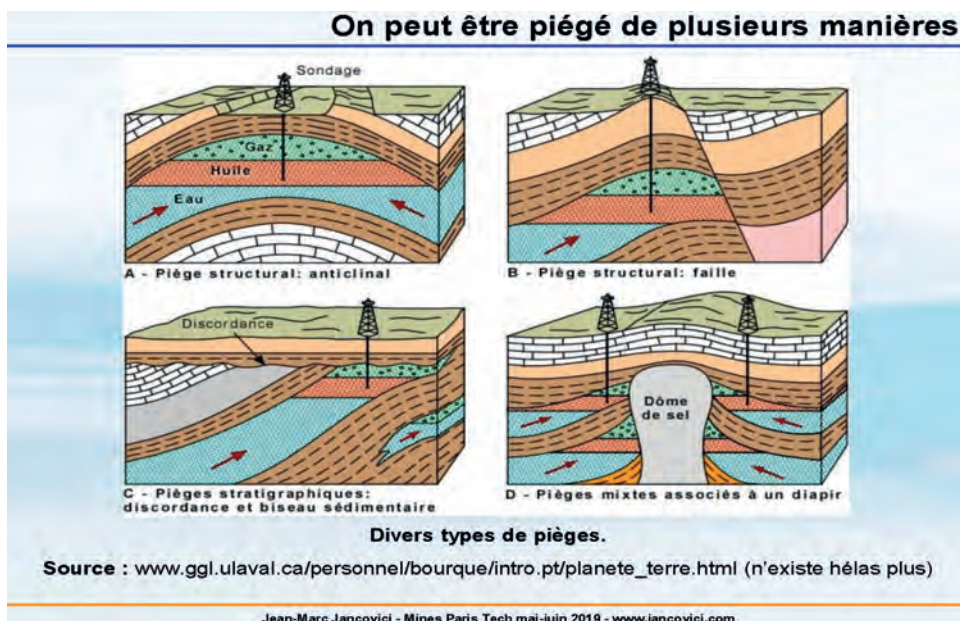


Phase 03 : tectonique des plaques (condition indispensable)

- enfouissement en profondeur
- réchauffement qui engendre une succession de dégradations des composants du sédiments
 - la partie minérale du sédiment se transforme en roche mère
 - la partie organique du sédiment va se transformer en plusieurs étapes
 - > dégradation bactérienne (expulsion d'eau et de CO₂)
 - > dégradation thermique anaérobie (comme dans une raffinerie, fractionnement / pyrolyse de la matière organique qui aboutit à 3 types de chaînes organiques
 - > kérogène distillé par la géothermie : gaz + liquide (huile) + un résidu solide qui ressemble à du char- bon et qui reste contenu dans la roche

Note :

- si la pyrolyse est incomplète / trop "jeune", alors on obtient une roche riche en matière organique appelée schistes bitumineux (ne pas confondre avec les sables bitumineux, oil shale à ne pas confondre avec shale oil)
- pour pouvoir être exploité le schiste bitumineux, il faut finir de le chauffer (très faible rendement énergétique, 1 seule installation dans le monde)
- in fine on récupère du pétrole avec ROI < 1



Phase 04

- soit le kérogène reste à l'endroit où il s'est formé, le sédiment tout autour a formé une roche imperméable
- soit la roche est perméable, et alors le gaz et l'huile vont connaître une Migration primaire, c'est à dire se diffuser à l'intérieur de la roche

Note :

- si on remplace le plancton par des fougères (ce qui s'est passé au carbonifère), alors se sont des veines de charbon qui sont formées
- la veine de charbon produit également du pétrole et du gaz, dans le même processus de décomposition et de pyrolyse créée par la chaleur de la terre
- > le pétrole s'échappe
- > tandis qu'une partie du méthane est absorbé dans la veine de charbon (coups de grisou)

Phase 05 : migration secondaire

- mouvement du gaz et du pétrole vers la surface, la plupart du temps atteint la surface et se décompose
- à de rares exceptions, il reste coincé dans un piège (une roche perméable surmontée d'une roche imperméable)
- la roche réservoir remplie d'eau à 100% initialement
- in fine l'eau passe sous la partie imprégnée de pétrole
- si le piège est à moins de 500m sous terre = pétrole conventionnel
- si le piège est à plus de 500 mètres sous l'eau = off-shore profond

Note : un pétrole privé de sa migration secondaire ou de sa migration primaire, on a une roche mère contenant des hydrocarbures

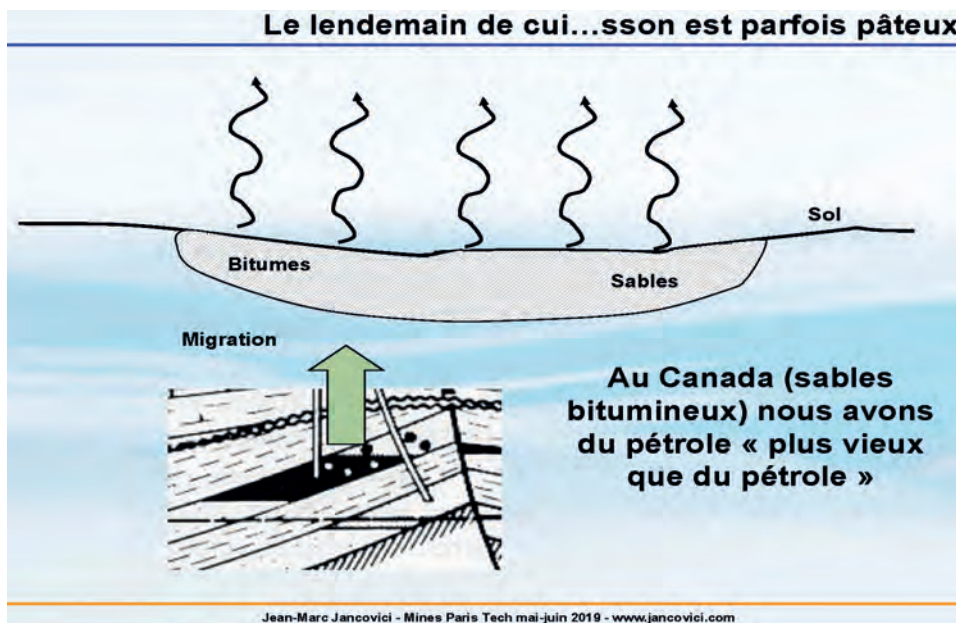
> shale oil (ou pétrole de "schiste", pétrole de roche mère)

>> soit le pétrole est réellement dans la roche mère

>> soit une mini migration dans des porosités de la roche mère, dans ce cas, tight oil

> le pétrole ne circule pas dans la roche, pour l'en faire sortir = fracturation, qui consiste à créer dans la roche mère un réseau de fissures

> fracturation énergivore, rendement énergétique de l'extraction du pétrole de roche mère réduit



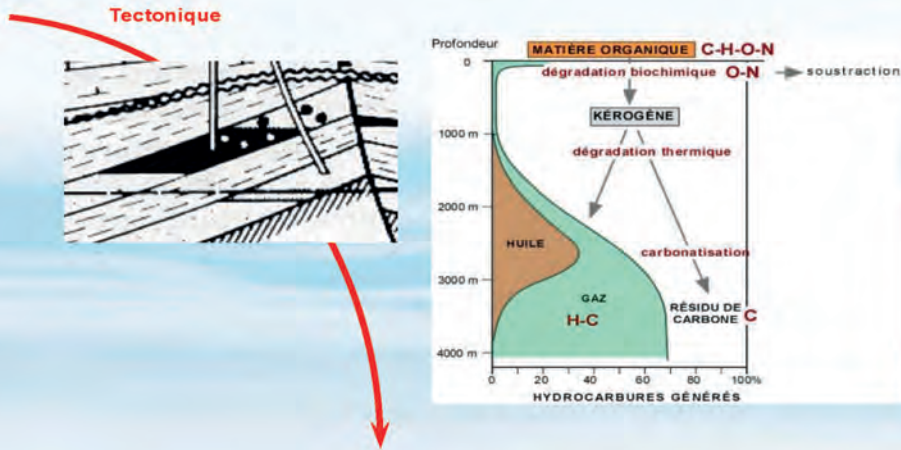
Note 2 : si la fin de la migration secondaire aboutit en surface à du sable

> le sable va emmagasiner le pétrole qui va se décharger de ses composants les plus volatiles

> sables bitumineux

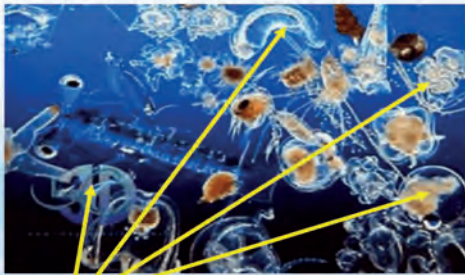
> rendement énergétique mauvais (traitement supplémentaire + éléments volatiles disparus laissent un pétrole de moins bonne qualité)

L'aventure recommence



Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Merci, mère nature !



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



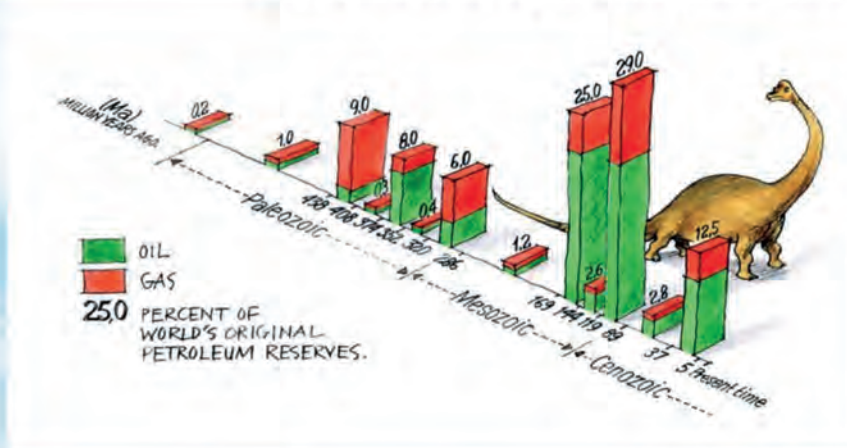
Carbone !

Je laisse tomber au fond de l'océan, je fais mourir, se mélanger avec le sédiment marin, se faire enfouir par la tectonique des plaques, se faire cuire par la géothermie,

GRATUIT !

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Pétrole et gaz, des énergies de dinosaure !

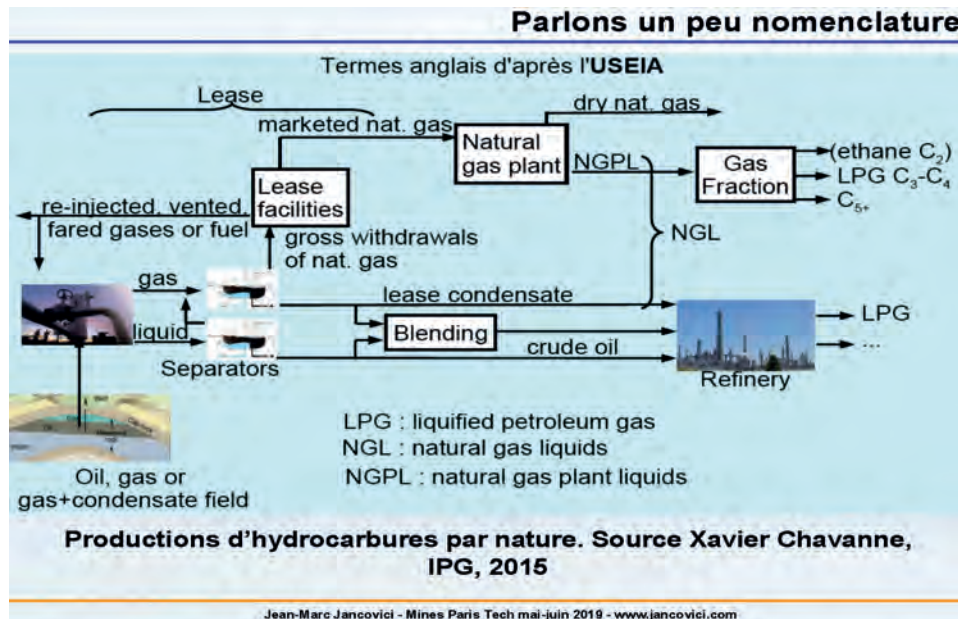


Époques de formation du pétrole et du gaz, en pourcentage des réserves mondiales. Source Université d'Uppsala, Suède, 2011

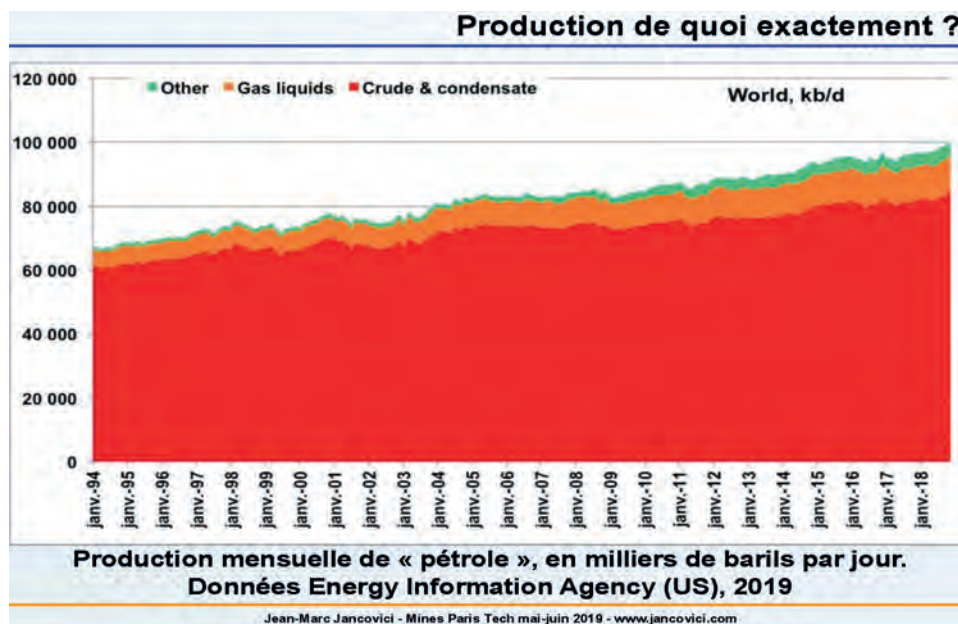
Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Chapitre 10 - Production et extraction des hydrocarbures

NOMENCLATURE

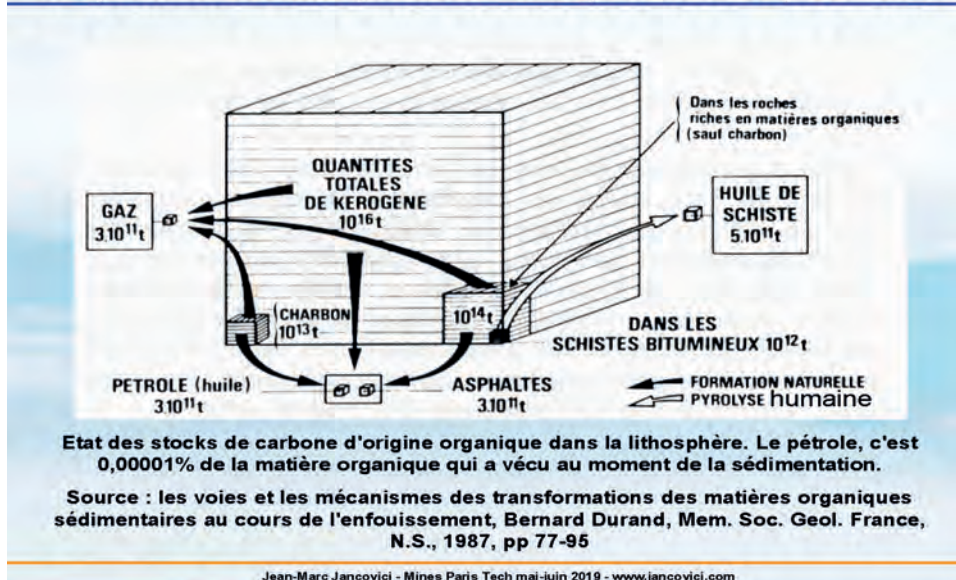


Plusieurs réalités derrière le mot pétrole :



- historiquement, pétrole désigne ce qui sort du puit de pétrole, sans traitement et mis directement dans les barils
- progressivement d'autres produits ont été extraits des forages de pétrole et sont parfois comptés avec le pétrole
 - gaz dissouts dans le pétrole (éthane pour la pétrochimie, propane pour la pétrochimie, butane = hydrocarbures saturés C2, C3, C4 = liquides de gaz / Natural Gas Liquid), parfois comptés dans le pétrole
 - liquides de gaz également présents en abondance dans les poches de gaz en compagnie du méthane (qui doit être "nettoyé" des gaz liquides pour pouvoir être utilisé)
 - présence de condensats extraits avec le gaz (chaînes carbonées de C5 à C8), comptabilisés dans le pétrole brut

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



En discriminant le pétrole brut + condensats avec les gaz liquides et les carburants biodiversité

- à partir de 2005, pétrole brut n'augmente quasiment plus
- augmentation des liquides de gaz dans la période récente peut masquer la faible progression de la production de pétrole

Pétrole et gaz se trouvent dans des réservoirs

- la plupart du temps des roche-réservoirs.
- parfois la roche-mère elle-même

La roche-réservoir est une roche sédimentaire poreuse :

- le pétrole imprègne les pores
- avec 3 étages maximum :
 - gaz (qui contient les condensats)
 - huile (qui nécessairement contient des gaz dissous). Proportion d'huile dans la roche varie de quelques % à quelques dizaines de % (10% typiquement)
 - eau

Le pétrole sous terre : réserve or not réserve ?

Un « réservoir » de pétrole et/ou de gaz met ≈ 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

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Le pétrole dans la roche s'appelle "le pétrole en place", il est impossible d'extraire 100% de ce pétrole qui imprègne la roche-réservoir (idem pour l'huile présente dans la roche mère)

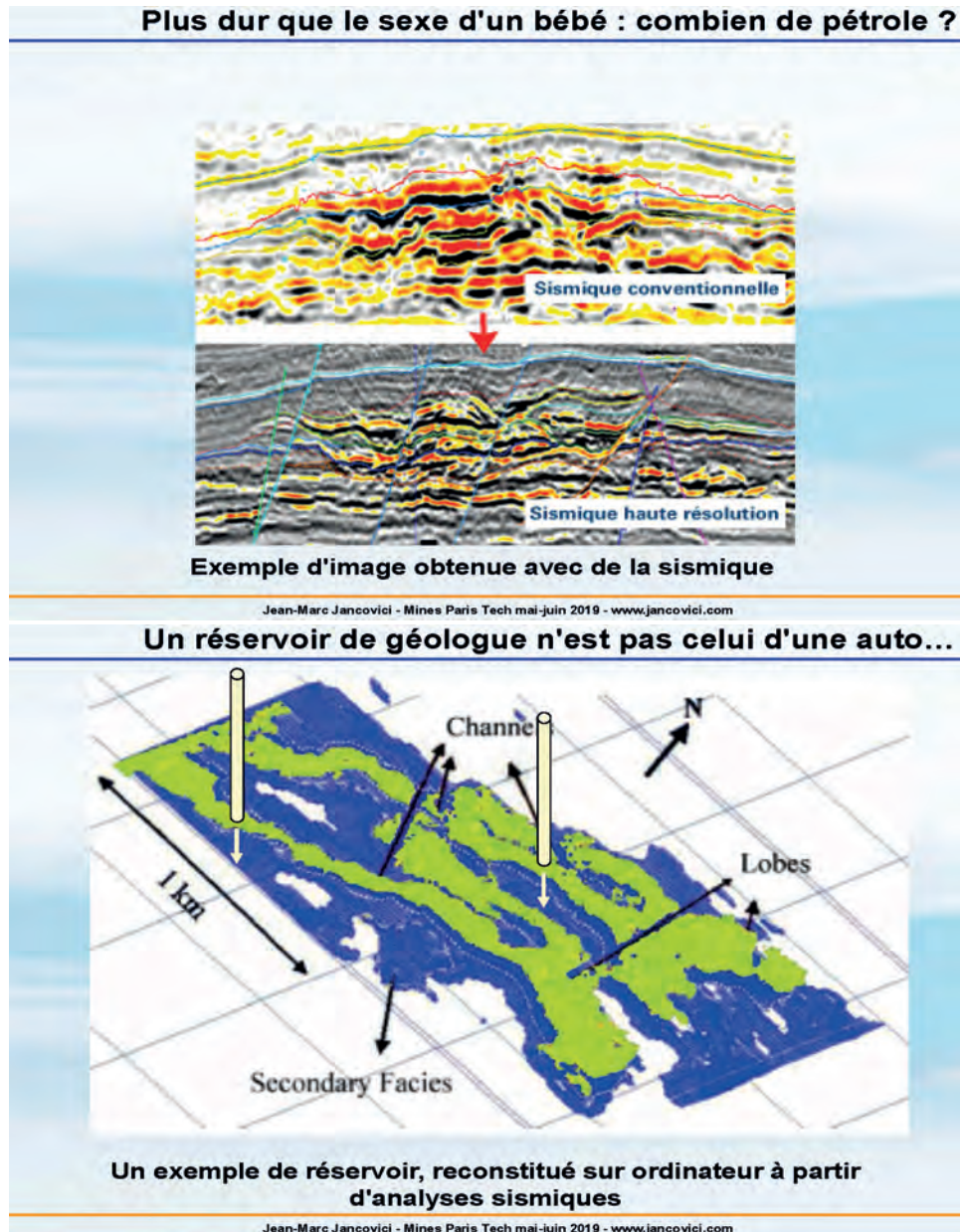
-- Taux de récupération variable

Variable profondeur :

- Plus l'enfouissement est profond plus la part du gaz est élevée
- Du pétrole qui se dégrade en surface est du pétrole vieux, appelé bitumes

- Du pétrole extrait avant maturation complète, schistes bitumineux (à ne pas confondre avec le pétrole de schiste qui est le pétrole mature de roche mère)

Prospection



- analyse sismique
- creusement de forages d'exploration, remontée et analyse de la carotte

Quantité du stock connue uniquement par des calculs de modélisation donc avec marge d'incertitude

Variables :

- le volume de la roche poreuse
- la porosité de la roche, variable selon les emplacements / la profondeur
- la concentration de l'huile dans la roche mère
- la viscosité de l'huile

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

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Une fois découvert plusieurs statuts possibles du puit

- exploitation (point de départ de la comptabilisation en tant que réserve)
- développement / installations en cours
- sans activité

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.

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Notion de réserve prouvée (réserves 1P)

= l'hypothèse la plus basse sur les variables du gisement (taille, porosité, taux de récupération ...)

= assurance de pouvoir extraire à techniques constantes

Evolutions possibles de la réserve prouvée :

- réévaluations régulières à la hausse ou à la baisse
- augmente si les techniques de récupérations sont améliorées
- augmente faiblement avec le prix du pétrole (infrastructures initiales lourdes, inertie forte). Justifie l'exploration et la création de nouveaux forages mais pas rénovation d'existants.
- diminue avec le temps puisque le stock s'épuise

Notion de réserves ultimes (= le plus probable) - Réserves 2P

= l'intégrale de la production entre le début et la fin, connue uniquement l'exploitation terminée

= ne varient pas avec le temps (sauf à les réévaluer)

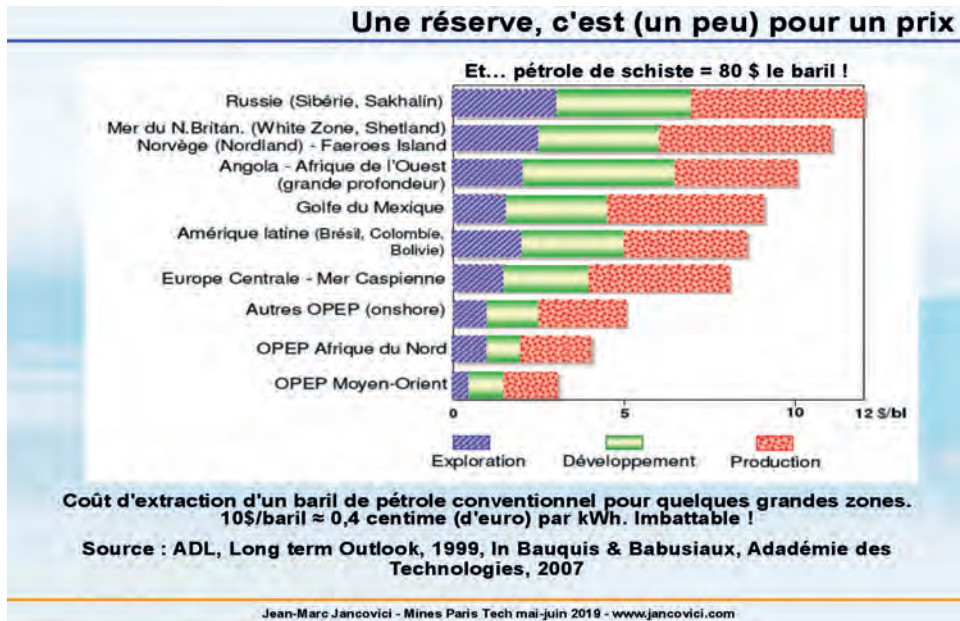
= les réserves ultimes restantes > aux réserves prouvées

Notion de réserve 3P

= le plus optimiste, irréaliste

= réserves Prouvées + Réserves Probables + Réserves Possibles)

Chapitre 11 - Les réserves



Réserves

= réserves en théorie ont un lien avec le prix

= mais pas en pratique car pour le pétrole conventionnel l'extraction est rentable quel que soit le prix du baril

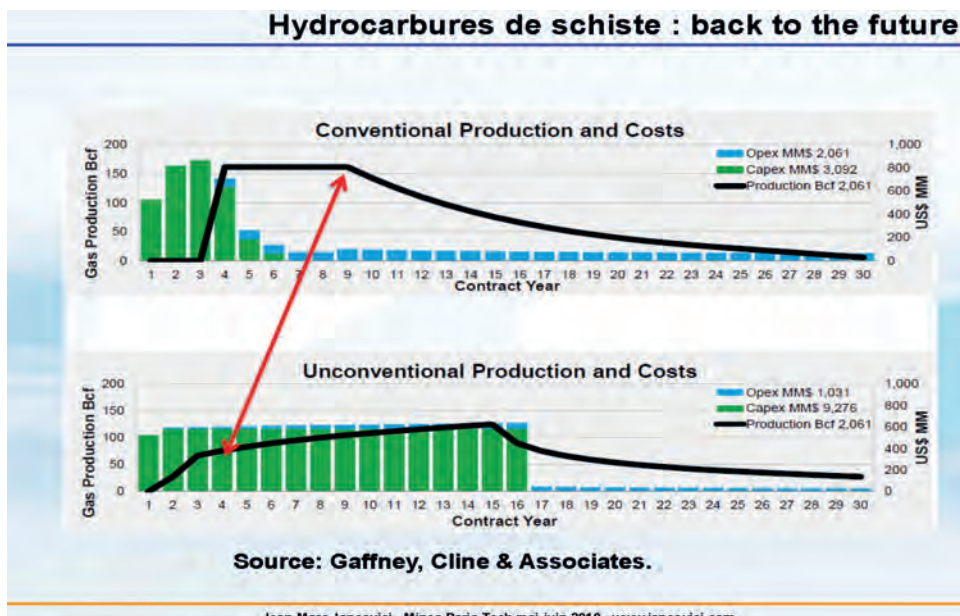
Coûts techniques d'extraction du pétrole dans le monde (exploration + développement + production)

- 5 à 10 \$ le baril, variable en fonction de la facilité d'accès, de l'ancienneté, etc.
- vendu 80 \$ pour les rentes : impôts, taxes (dont les plus importantes sont celles payées au pays producteur par ex compagnies pétrolières en vertu de l'accord de partage avec le pays détenteur), marges d'intermédiaires

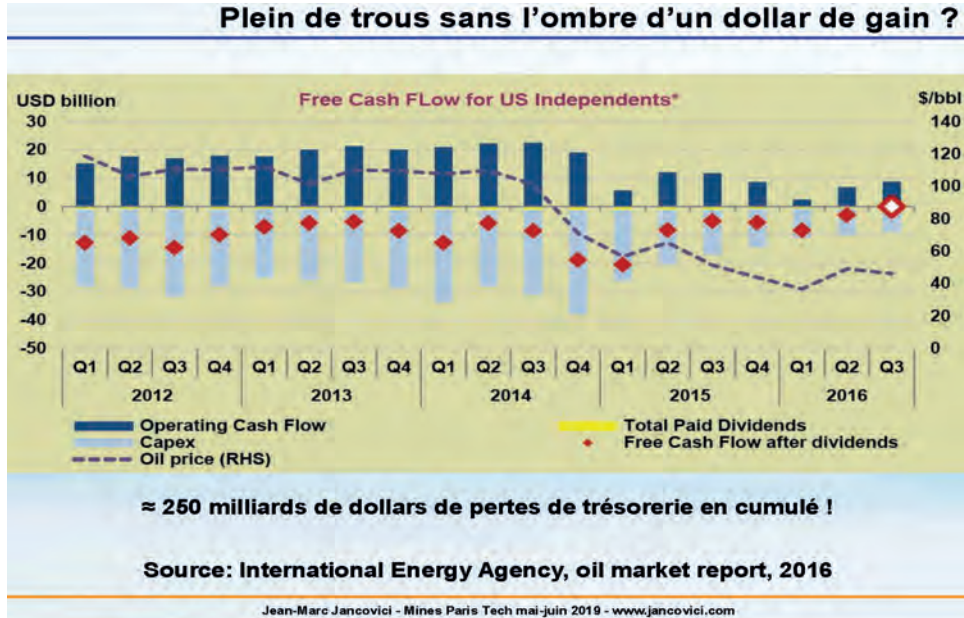
Différence fondamentale entre le pétrole "conventionnel" et le pétrole "de roche mère" au niveau de la structure des coûts

• gisement conventionnel :

- roche poreuse qui contient du pétrole
- l'essentiel des coûts est l'exploration puis l'installation du forage, avant que le 1er baril ne sorte de terre
- coûts d'exploitation relativement modestes une fois les frais colossaux d'installation payés

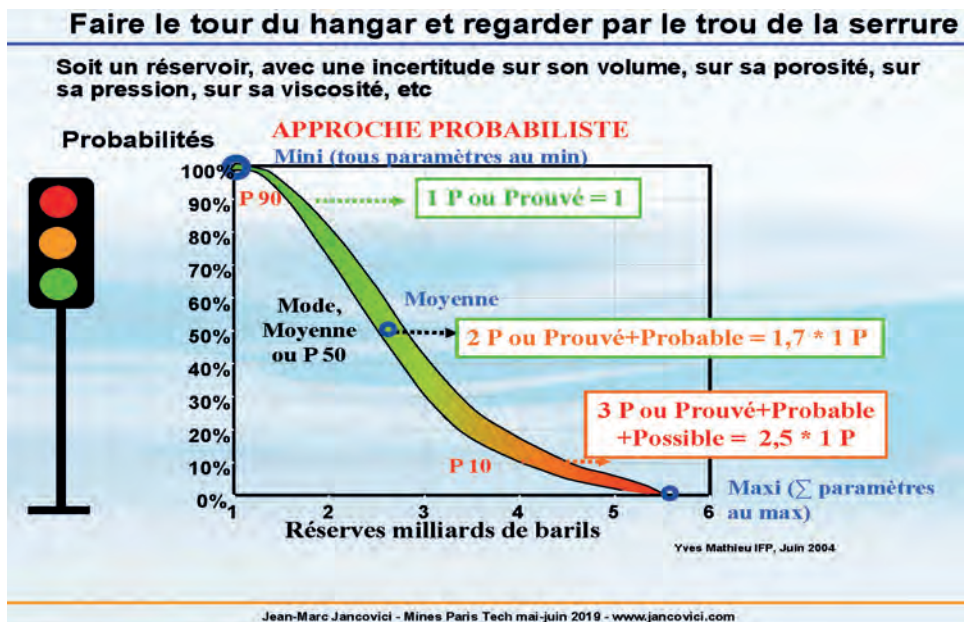


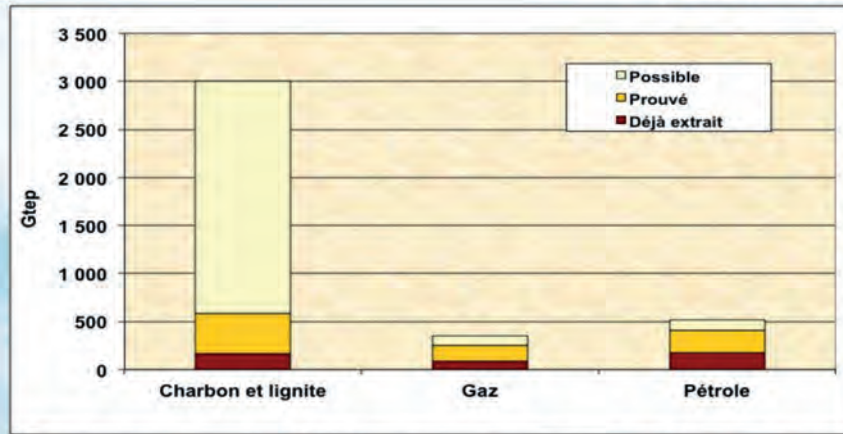
- gisement de roche mère
- puits met 1 mois pour atteindre son pic, 1 an pour tomber entre 20 et 50% du niveau initial
- pour conserver un approvisionnement constant en provenance d'un champ, la solution est d'installer des puits en permanence (quelques millions de dollars)
- le puits n'est plus un élément de capital mais un élément de charge courante, un "consommable"
- > cette particularité dans la structure des coûts explique que depuis 2012 en moyenne, les exploitants de pétrole et de gaz de roche mère aux Etats-Unis perdent de l'argent
- > l'argent de la vente des ressources extraites suffit à payer le renouvellement des puits



--> mais se pose le problème de la dette croissante à rembourser avec un prix du baril bas
 --> "étrangeté financière" / équilibre instable dans ce secteur qui pourrait conduire à un krach / à une chute brusque de la production.

Or il s'agit du seul endroit au monde avec l'Irak où la production de pétrole continue à croître. Conditionne l'évolution de l'économie mondiale.





Production cumulée (2012), réserves prouvées (2012) et haut de fourchette possible pour gaz, pétrole et charbon conventionnels.

Compilation de l'auteur sur sources diverses

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

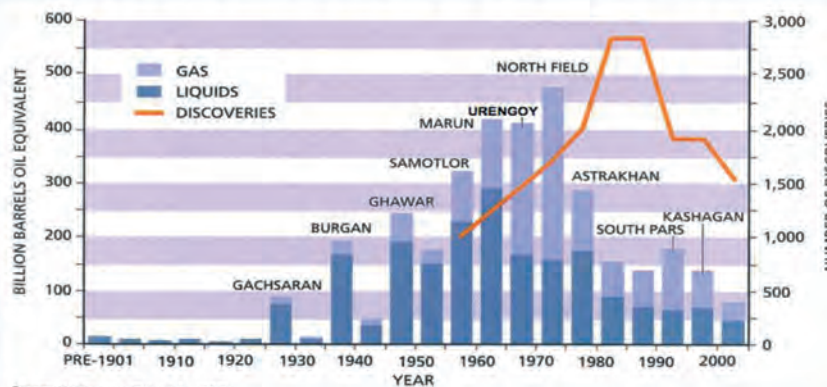
Bonne connaissance des réserves de pétrole et gaz conventionnel
 -- le reste à découvrir est très faible
 -- les réserves 2P bien évaluées

Pour le charbon, à l'inverse, état des réserves très incertain

Découvertes de pétrole et de gaz conventionnel (= dans des roches poreuses imprégnées, pas dans les roches mères)

- > en baisse depuis les années 60,
- > tendance lourde qui ne s'inversera pas car en parallèle les explorations ont tout cartographié
- > les découvertes de gisements ont augmenté jusqu'aux années 80 mais n'ont pas infléchi la baisse des quantités découvertes
- > depuis les années 80, les découvertes de gisement elles-mêmes déclinent fortement
- > la mise en exploitation des champs profonds et polaires n'inversera pas la tendance lourde

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



Découvertes mondiales de pétrole conventionnel et de gaz conventionnel récupérables depuis 1900 hors US et Canada, en milliards de barils équivalent pétrole par décennie (1 tonne = 7,3 barils). En orange : nombre de champs découverts.

Source : IHS, 2006

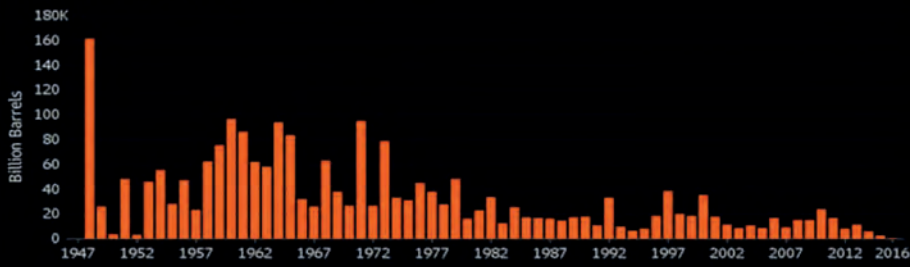
Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

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

Oil Discoveries Lowest Since 1947

Explorers slash spending after price collapse

Conventional Oil Discovered



Source: Wood Mackenzie

Note: 2016 figure covers exploration results to August. Discoveries amounted to just 230 million barrels in 1947 but ballooned the following year with the Ghawar find in Saudi Arabia, still the world's biggest field.

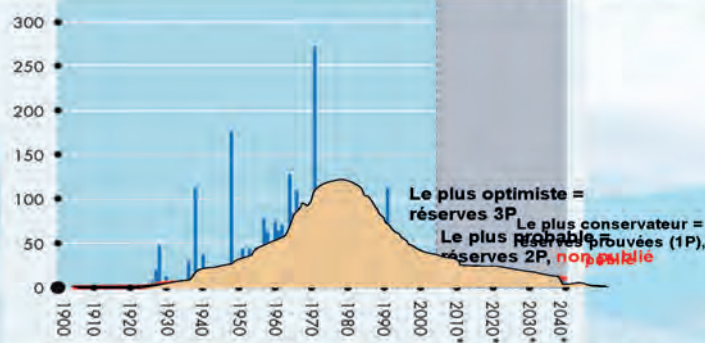
Bloomberg

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

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

- La recherche de nouveaux gisements est très fortement corrélée au prix du pétrole
- plus le baril monte plus les recherches s'intensifient
- cela permet de faire des petites découvertes supplémentaires

Et il en sortira quoi de tout ça ?

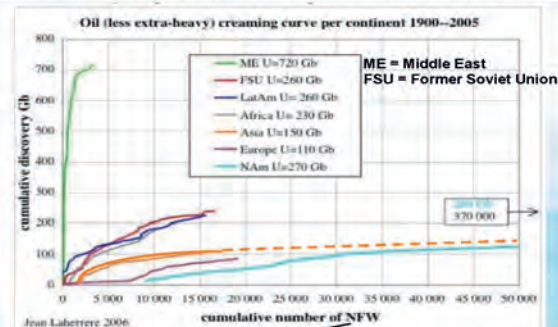


Découvertes mondiales de pétrole récupérable depuis 1900 (valeurs annuelles et moyenne mobile sur 20 ans), en milliards de barils, et extrapolation pour le futur (y compris offshore profond, polaire, etc).

Source : Shell/IHS Energy, 2005

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Moins de découvertes parce nous cherchons moins ?



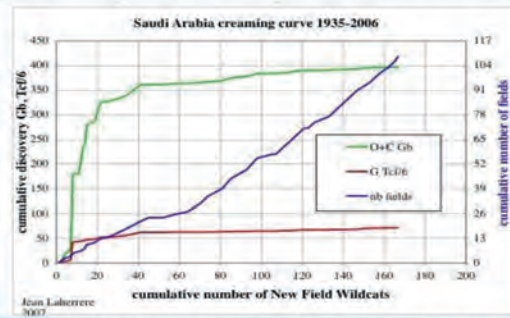
NFW = New Field Wildcats = puits d'exploration

Découvertes cumulées en fonction du nombre de puits forés pour le monde. Même remarque que précédemment.

Source Jean Laherrère, 2006

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Moins de découvertes parce nous cherchons moins (bis) ?

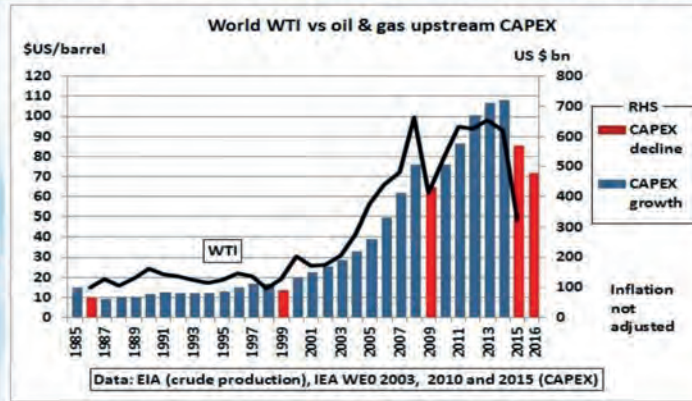


Découvertes cumulées en fonction du nombre de puits forés pour l'Arabie Saoudite. Il est facile de constater que plus le nombre de puits d'exploration forés est important, moins les derniers puits forés contribuent aux découvertes.

Source Jean Laherrère, 2007

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

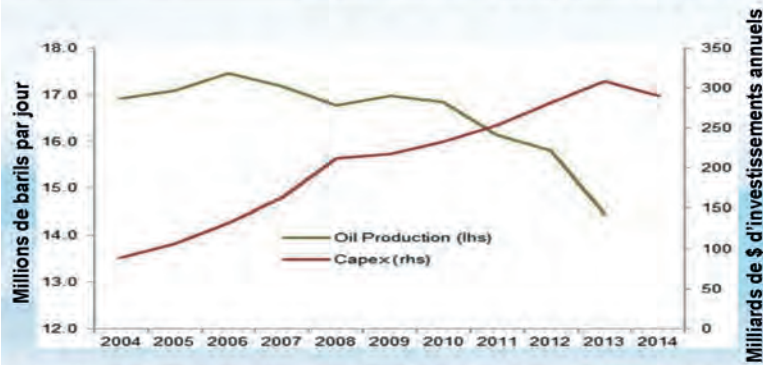
Moins de découvertes parce que nous cherchons moins ?



Investissements en milliards de dollars de l'industrie pétrolière mondiale.

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Mais ca ne suffit pas à produire plus...



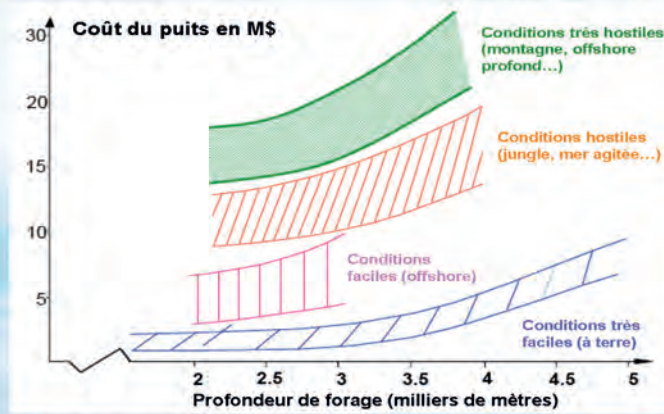
Production pétrolière des majors de 2004 à 2014, et budgets d'investissement des mêmes
Source Bloomberg via Astenbeck Capital Management

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Comparaison des dépenses d'exploration des majors (Capex) et la production de pétrole :

- les courbes se croisent en 2011
- chute accélérée de la production à cette période malgré augmentation des investissements
- l'investissement est surtout entrepris pour limiter le déclin de la production

Chère, la technologie !



Prix d'un forage d'exploration dans le monde selon les conditions.
Source Pierre-René Bauquis, 2008

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Explication de la fixation des prix du pétrole :

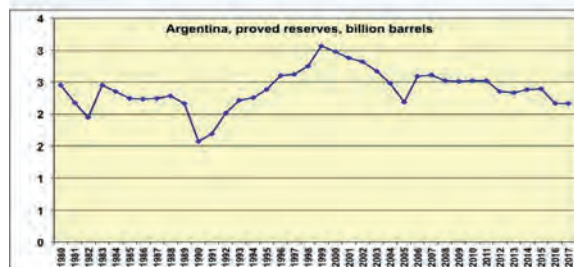
- indépendant du volume
- prix oscillant par phases
- > augmentation demande > montée du prix
- > montée du prix > nouvelles prospections des majors
- > montée des prix continue > reflux demande
- > reflux demande > baisse du prix au moment où les nouveaux champs commencent à produire

--> prix bas > augmentation demande

- dans ce contexte d'oscillation le shale oil pourrait raccourcir la longueur d'onde de l'oscillation car la mise en place de nouveaux champs est très rapide

Evolution des réserves prouvées en Argentine

Les réserves, normalement sensibles à l'activité des shadoks

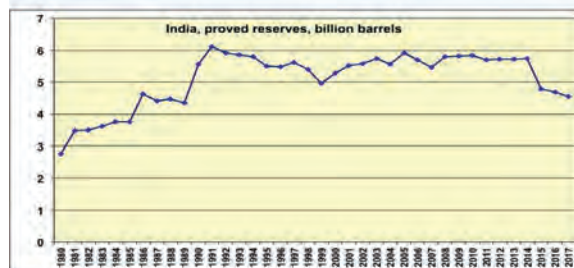


Evolution des réserves prouvées en Argentine. Source BP Statistical Review, 2018

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Evolution des réserves prouvées en Inde

Les réserves, normalement sensibles à l'activité des shadoks

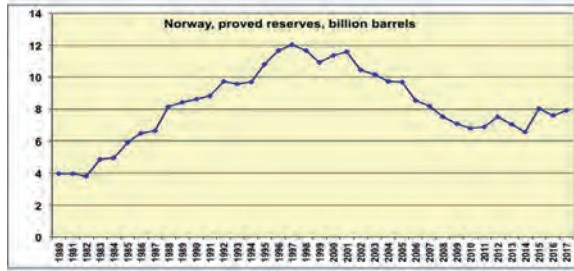


Evolution des réserves prouvées en Inde. Source BP Statistical Review, 2018

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Evolution des réserves prouvées en Norvège (1er producteur de brut en Europe)

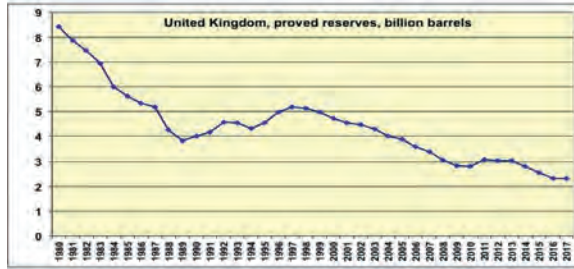
Les réserves, normalement sensibles à l'activité des shadoks



Evolution des réserves prouvées en Norvège (1er producteur de brut en Europe). Source BP Statistical Review, 2018.

Jean-Març Jancovici - Minsk Paris Tech mai juin 2018 - www.jancovici.com

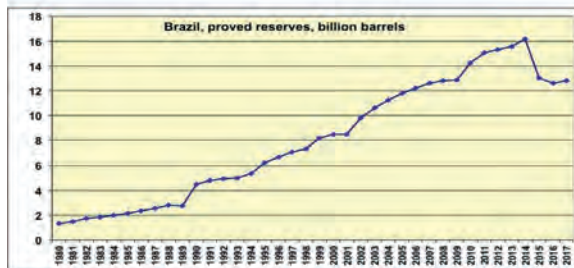
Evolution des réserves prouvées en Grande Bretagne. Les réserves, normalement sensibles à l'activité des shadoks



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

Jean-Març Jancovici - Minsk Paris Tech mai juin 2018 - www.jancovici.com

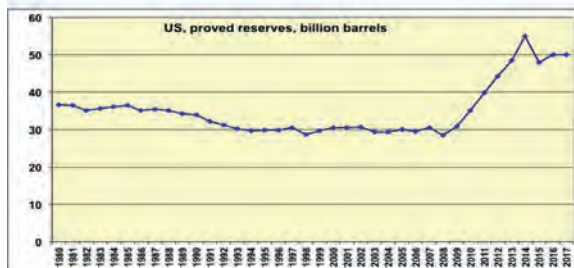
Evolution des réserves prouvées au Brésil. Les réserves, normalement sensibles à l'activité des shadoks



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

Jean-Març Jancovici - Minsk Paris Tech mai juin 2018 - www.jancovici.com

Evolution des réserves prouvées aux USA. Les réserves, normalement sensibles à l'activité des shadoks

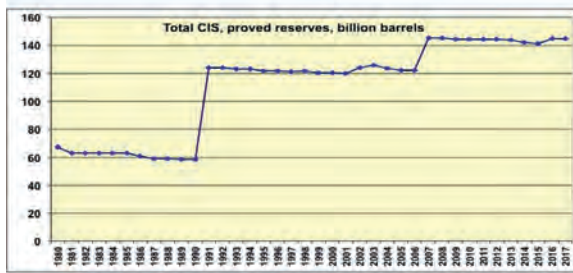


Evolution des réserves prouvées aux USA. Source BP Statistical Review, 2018.

Jean-Març Jancovici - Minsk Paris Tech mai juin 2018 - www.jancovici.com

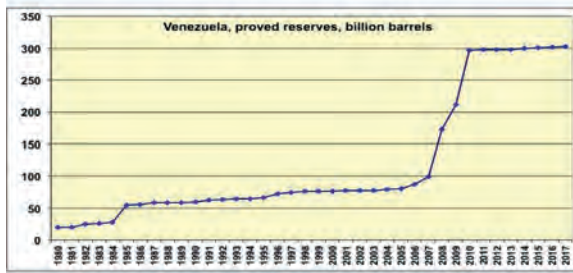
Evolution des réserves prouvées dans l'ancienne URSS.

Les réserves, normalement sensibles à l'activité des shadoks



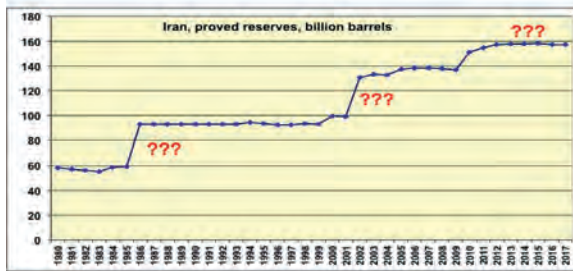
Evolution des réserves prouvées dans l'ancienne URSS. Source BP Statistical Review, 2018
 Jean-Marc Jansovici - Minsk Paris Tech mai juin 2019 - www.jansovici.com

**Evolution des réserves prouvées au Venezuela.
 Attention à ne pas confondre réservoir et robinet !**



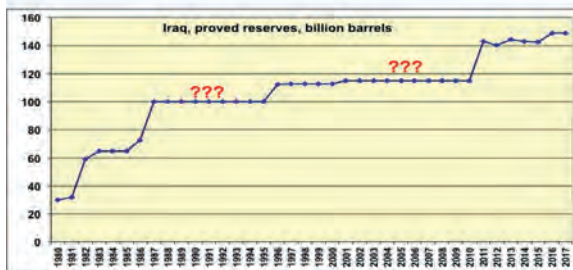
Evolution des réserves prouvées au Venezuela. Source BP Statistical Review, 2018
 Jean-Marc Jansovici - Minsk Paris Tech mai juin 2019 - www.jansovici.com

**Evolution des réserves prouvées en Iran.
 Les réserves, insensibles à l'activité des shadoks ?**



Evolution des réserves prouvées en Iran. Source BP Statistical Review, 2018
 Jean-Marc Jansovici - Minsk Paris Tech mai juin 2019 - www.jansovici.com

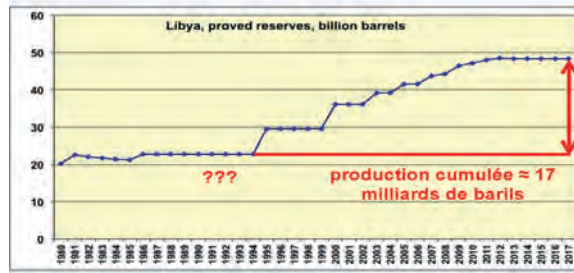
**Evolution des réserves prouvées en Irak.
 Les réserves, insensibles à l'activité des shadoks ?**



Evolution des réserves prouvées en Irak. Source BP Statistical Review, 2018
 Jean-Marc Jansovici - Minsk Paris Tech mai juin 2019 - www.jansovici.com

Evolution des réserves prouvées en Libye.

Les réserves, insensibles à l'activité des shadoks ?

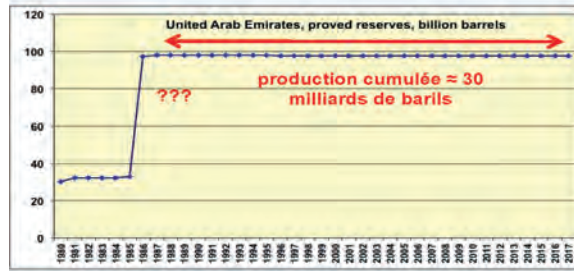


Evolution des réserves prouvées en Libye. Source BP Statistical Review, 2018

Jean-Marc Janssoix - Minsk Paris Tech mai juin 2018 - www.janssoix.com

Evolution des réserves prouvées aux Emirats

Les réserves, insensibles à l'activité des shadoks ?

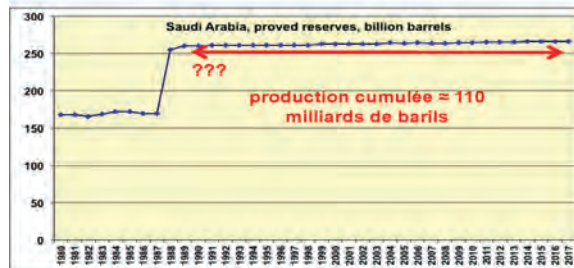


Evolution des réserves prouvées aux Emirats. Source BP Statistical Review, 2018

Jean-Marc Janssoix - Minsk Paris Tech mai juin 2018 - www.janssoix.com

Evolution des réserves prouvées En Arabie Saoudite

Les réserves, insensibles à l'activité des shadoks ?



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

Jean-Marc Janssoix - Minsk Paris Tech mai juin 2018 - www.janssoix.com

Déclaration des réserves :

- par les majors : cotées en bourses, elles ont l'obligation de déclarer leurs réserves prouvées. Une toute petite partie (6%), l'immense majorité des déclarations de réserves prouvées relève de compagnies nationales (opacité des gouvernements)
- par les pays de l'Opep : obligation pour arbitrer les quotas de productions attribués aux membres de l'Opep

-- limites :

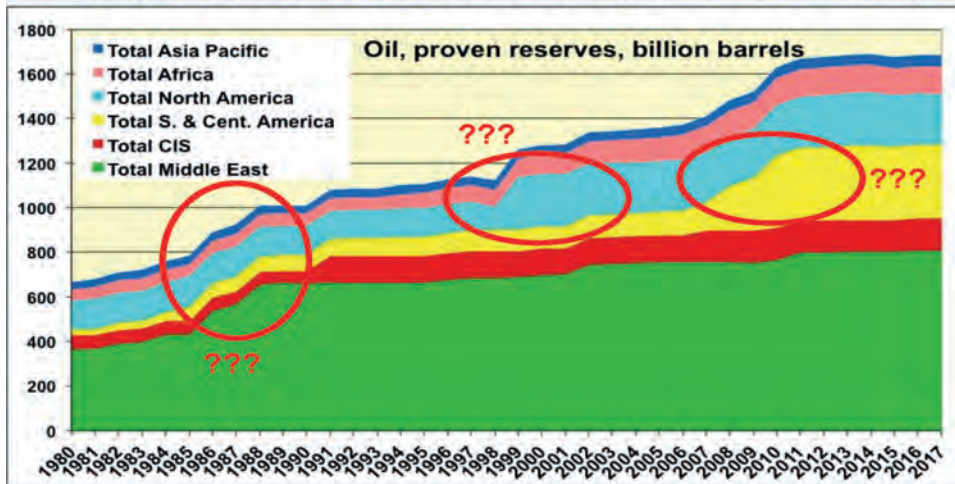
---> auto déclaration des pays, invérifiables : ex-URSS

---> définition de la ressource pétrole comptabilisé : Venezuela / Orénoque (pétrole liquide extra lourd)

---> graphiques en marches d'escalier avec croissance continue (jamais de baisse malgré la production) et sans découvertes majeures : mensonge d'Etat et rééquilibrages pour obtenir nouveaux quotas de production au sein de l'Opep (exemple Iran, Irak, Lybie)

----> grosse incertitude concernant les pays de l'Opep au Moyen Orient, informations non fiables (logique de quotas de l'Opep incite à la falsification)

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

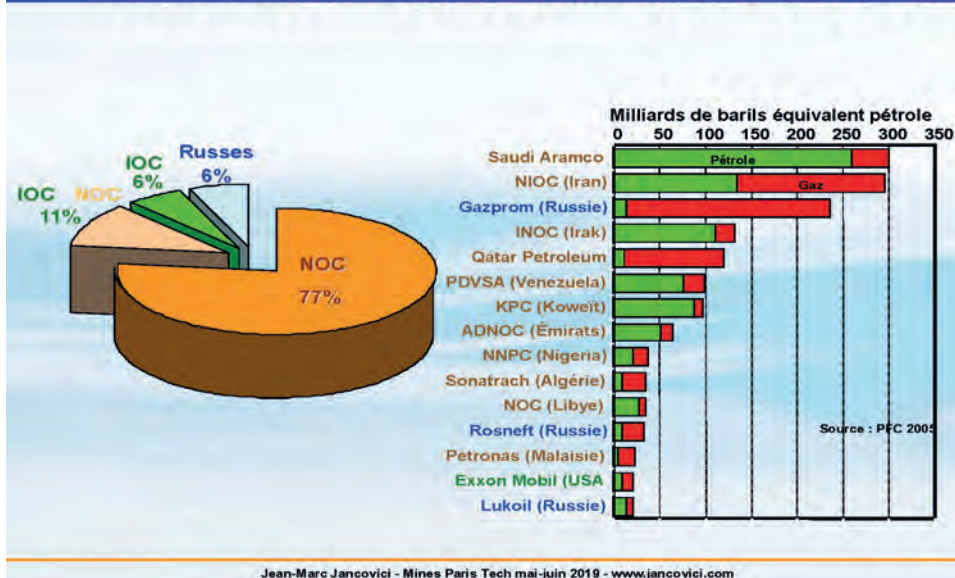


Evolution des réserves prouvées (déclarées) de pétrole, de 1980 à 201.

Source BP Statistical Review 2017

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Les réserves sont l'affaire du ministre plus que du PDG



Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Historiquement plusieurs falsifications / limites

- mi-années 80 : contre-choc pétrolier, les pays de l'Opep réévaluent leurs réserves pour s'attribuer de nouveaux quotas
- début des années 2000 : mise en exploitation des sables bitumineux au Canada (nouveau type de "pétrole")
- 2010 : découverte des extra-lourds au Venezuela

> les réserves prouvées ne cessent d'augmenter malgré la production

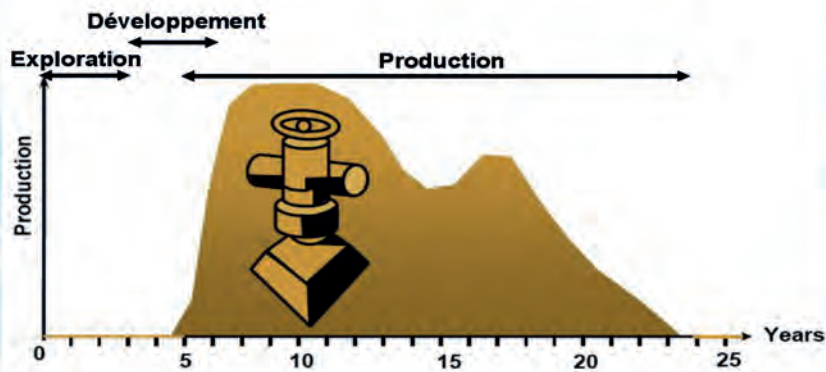
Chapitre 12 - Pic pétrolier

Les maths, c'est décidément détestable...



Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Pic systématique !



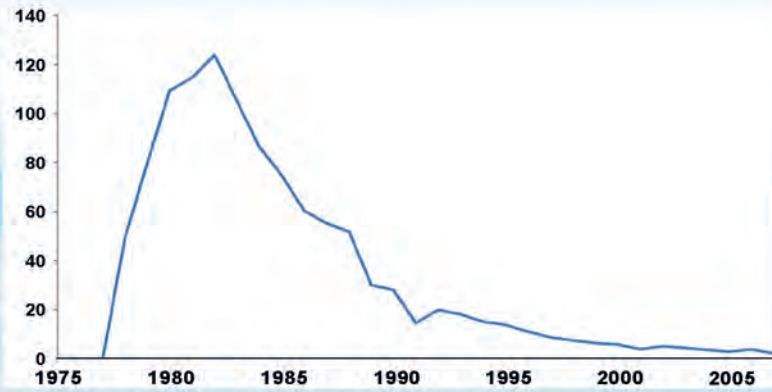
Aspect générique de la vie d'un champ de pétrole. La production a lieu quand il y a une aire marron. Source Pierre-René Bauquis, 2008.

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

La réalité est donnée par de simples mathématiques :

- un stock de départ souterrain donné une fois pour toute pour les temps historiques (cela vaut pour le pétrole et pour tous les minerais)
- avec un inventaire fixé une fois pour toute, il est impossible d'avoir une extraction indéfiniment croissante ou même indéfiniment constante
- obligation du passage par un pic

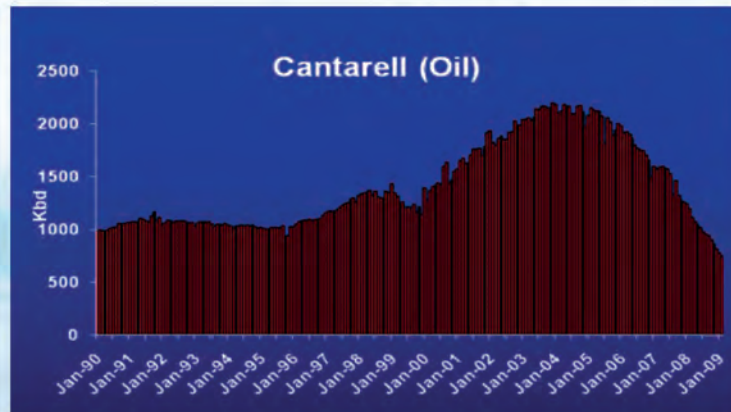
Pic pour un champ



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

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

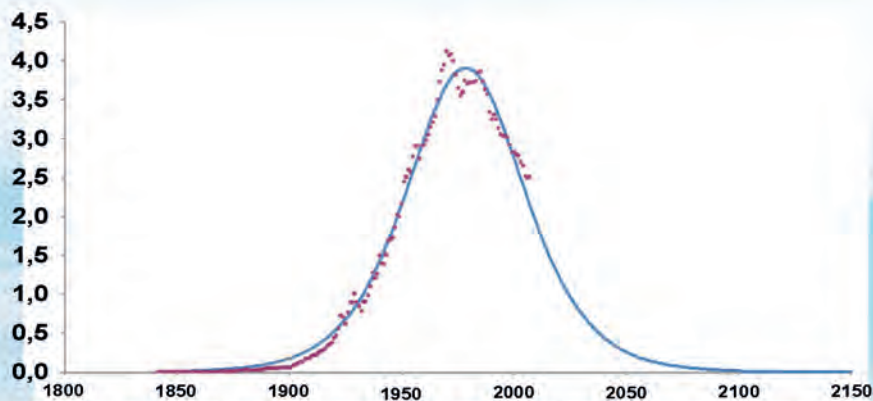
Pic pour un gros champ



Production de pétrole du champ de Cantarell (Mexique). Source Matthews Simmons, Simmons & cy, 2009

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

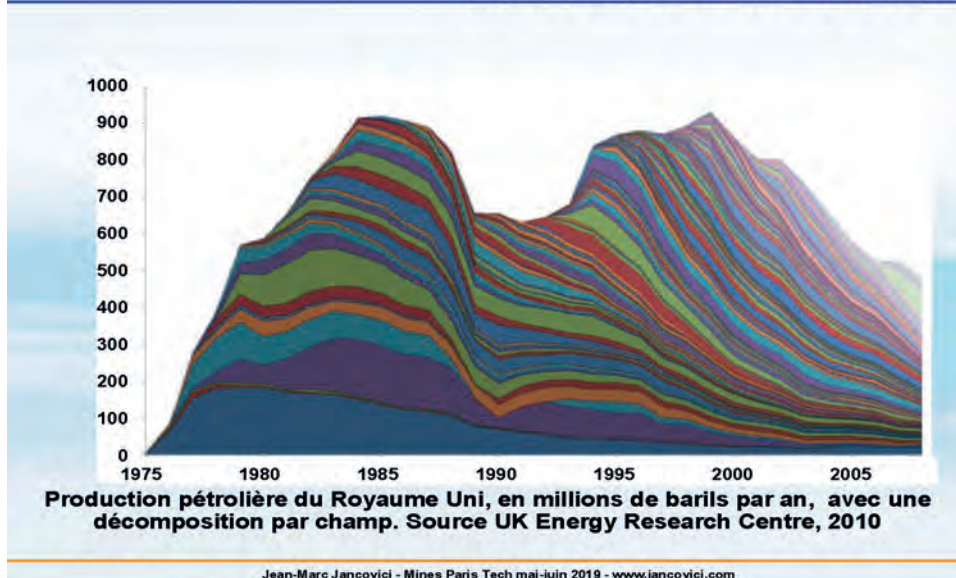
Pic pour un gros pays



Production des Etats Unis, en milliards de barils par an. Pic en 1970.
Source UK Energy Research Centre, 2010

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Un double pic est aussi possible

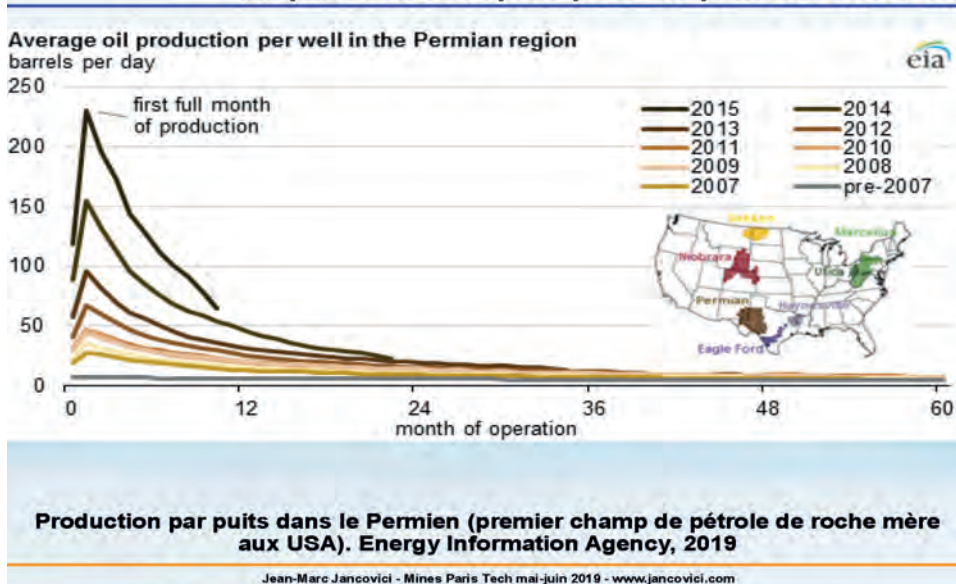


La réalité se vérifie sur le terrain :

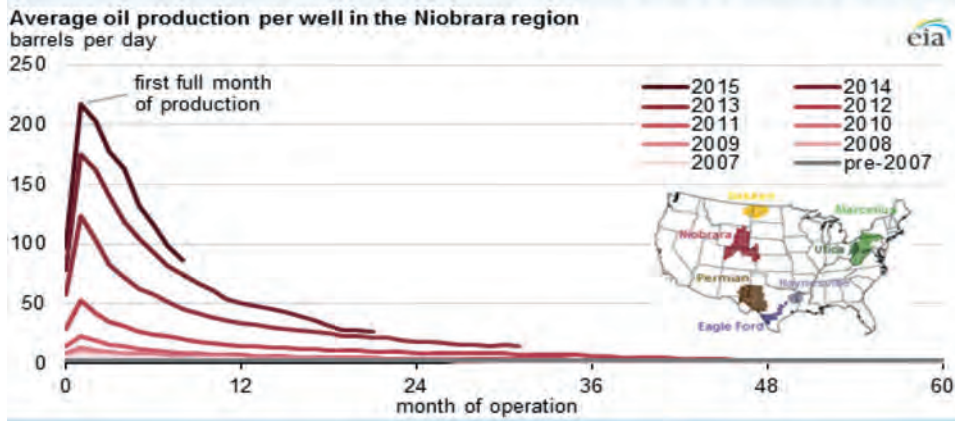
- chaque puits de pétrole mis en production passe par un pic
- cela se vérifie également au niveau du champ pétrolier (= un ensemble de puits)
- se constate pour l'exploitation du pétrole de roche mère (en moins d'1 an la production décline, très rapidement)

> pour maintenir un même niveau de production il faut ajouter des puits et faire de la prospection

Le pic est très rapide pour un puits de shale oil



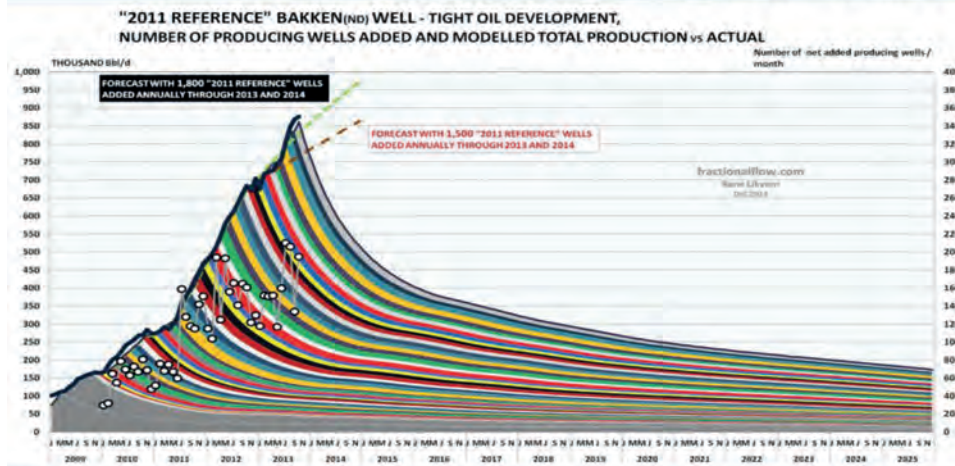
Le pic est très rapide pour un puits de shale oil (bis)



Production par puits dans le Niobara (premier champ de pétrole de roche mère aux USA). Energy Information Agency, 2019

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Et donc il faut faire des trous en permanence !



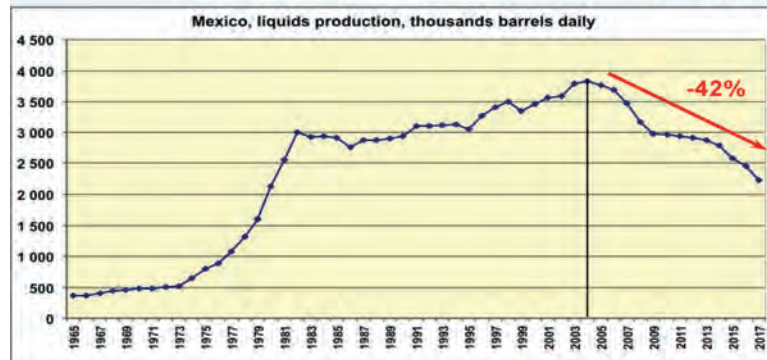
Exemple de profil de production si on cesse de forer dans le shale oil.

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Conséquences lorsqu'un pays atteint son pic de production :

- devient importateur au lieu d'exportateur. Exemples Argentine, Egypte, Indonésie (+30M PIB, aujourd'hui -5%) ...
- phénomène singulier : l'Egypte et l'Indonésie continuent à subventionner le pétrole à la pompe même en étant importateur, du coup subventionne les importations et contribue dans la fixation des prix à rendre inopérant l'équilibre classique offre / demande

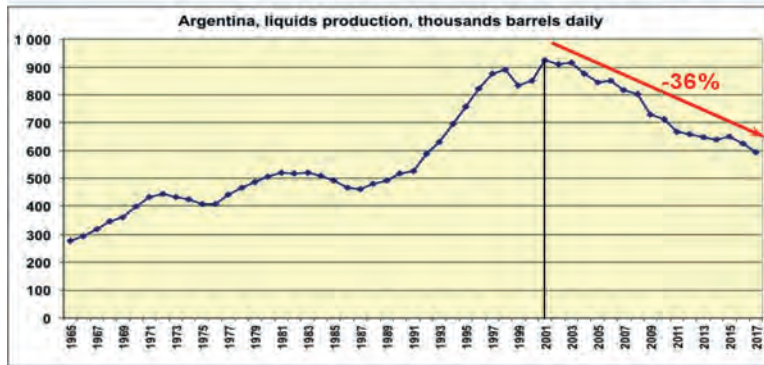
Du champ au pays



Production de pétrole au Mexique (≈ 3% de la production mondiale), en milliers de barils/jour. Source BP Statistical Review, 2018

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

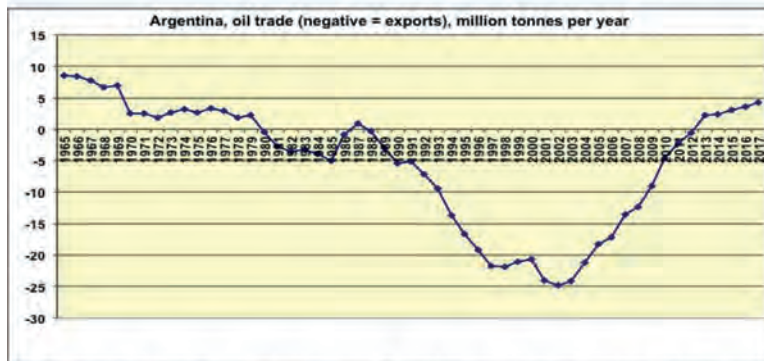
Stock non renouvelable => pic et pic et...



Production de pétrole en Argentine (< 1% de la production mondiale), en milliers de barils/jour. Source BP Statistical Review, 2018

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

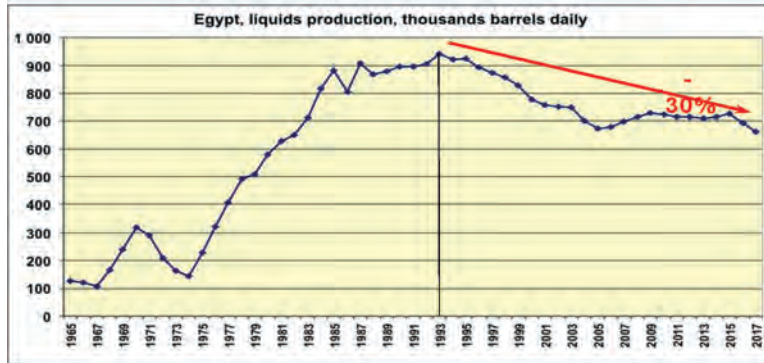
Comment passer de grosses recettes à de menues dépenses



Solde importateur de pétrole de l'Argentine. Calculs Jancovici sur données BP Statistical Review, 2018

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

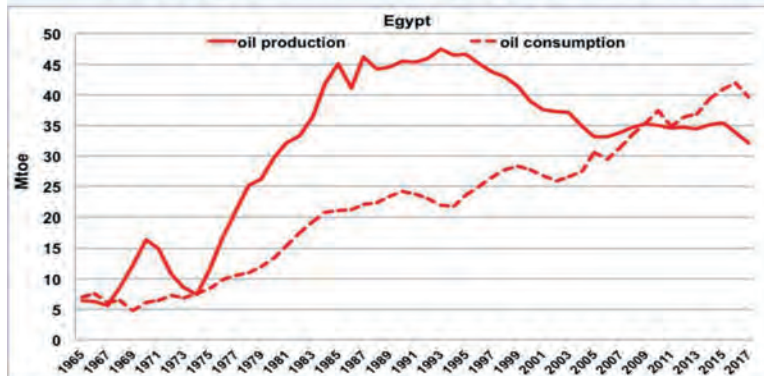
Le pic, une réalité déjà fréquente



Production de pétrole en Egypte (< 1% de la production mondiale), en milliers de barils/jour. Source BP Statistical Review, 2018

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

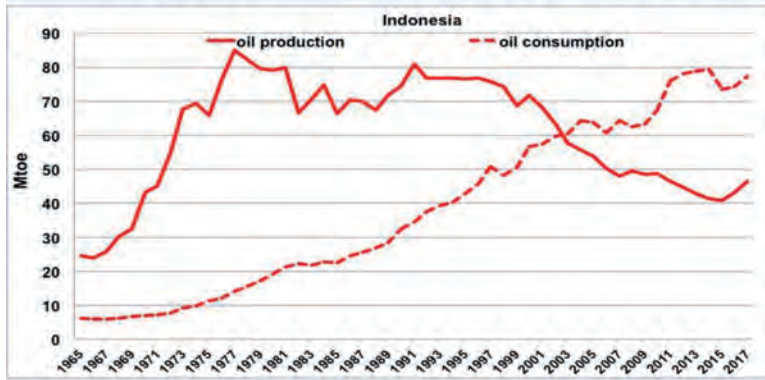
Pic de la production... mais pas de la consommation !



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

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

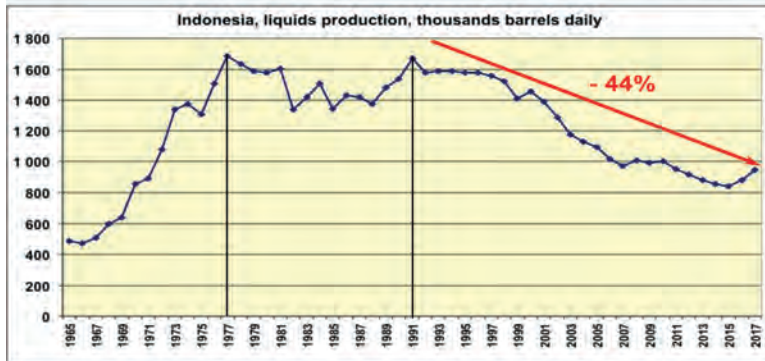
Pic de la production... mais pas de la consommation !



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

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Le pic, une réalité déjà fréquente - 2



Production de pétrole en Indonésie (1% de la production mondiale), en milliers de barils/jour. Source BP Statistical Review, 2018

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

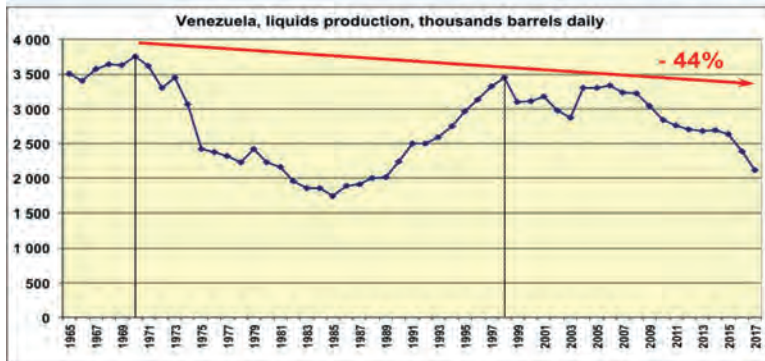
Je gagnais quelques sous, mais c'est du passé !



Solde commercial de l'Indonésie par énergie rapporté au PIB. Calculs Jancovici sur données BP Statistical Review & World Bank, 2018

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

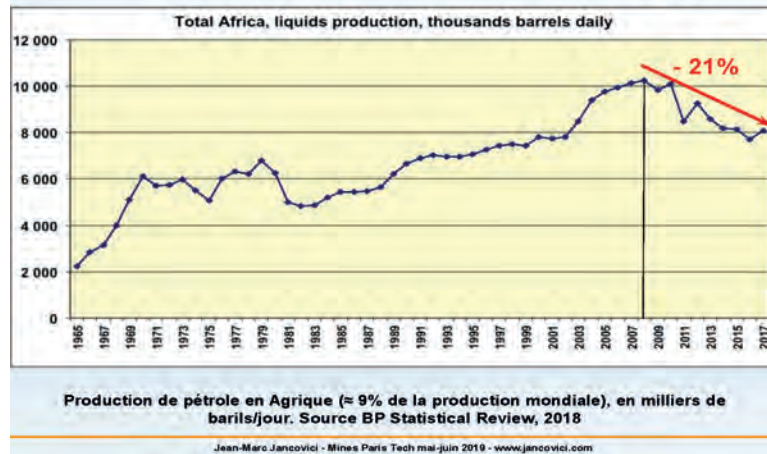
Le pic, une réalité déjà fréquente - 3



Production de pétrole au Venezuela (≈ 3% de la production mondiale), en milliers de barils/jour. Source BP Statistical Review, 2018

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

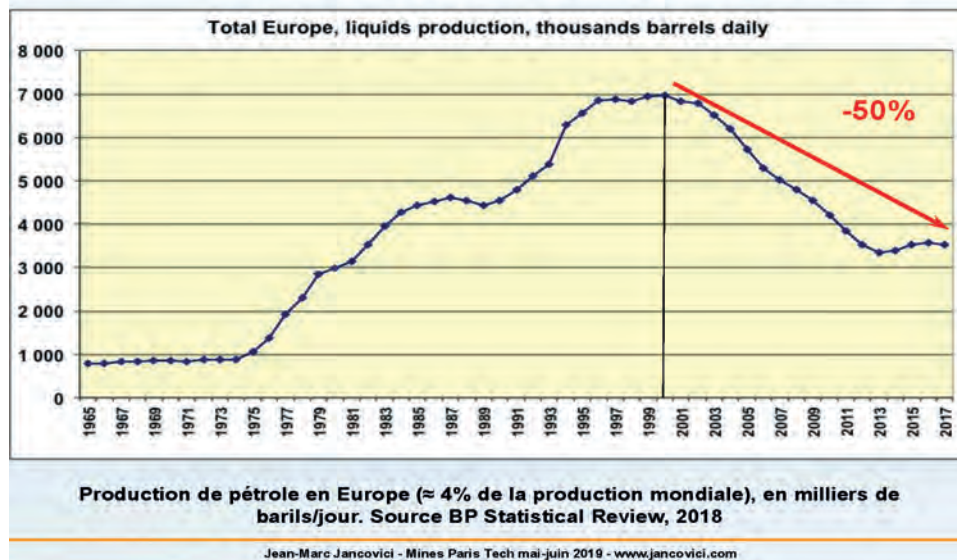
Pic du sud



Fournisseurs UE en chute :

- Afrique : pic franchi en 2009, 2009 / 2017 = -21% de sa production. Afrique (Algérie, Angola, Nigéria ...) des fournisseurs importants de l'UE
- Champs de la Mer du Nord a franchi le pic en 2000, depuis la production 2000 / 2017 = -50%
- Russie, proche du Pic (30% des importations européennes)

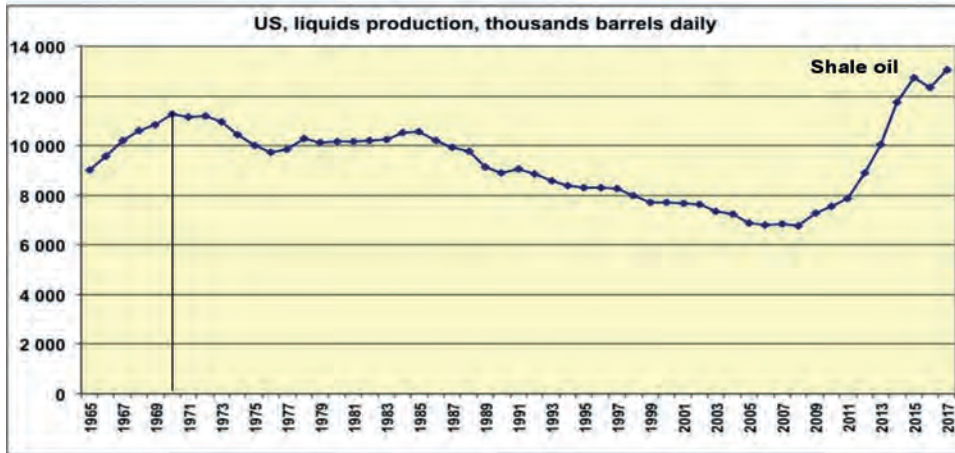
Au grand jeu du pic, les Européens sont excellents



Trajectoires singulière des Etats-Unis :

- Pic pétrole conventionnel franchi au début des années 70
- effet Pétrole de roche mère / shale oil en 2010 explique le rebond (mais secteur fragile financièrement, rentabilité, certains champs au bord du pic ...)
- reste largement importateur

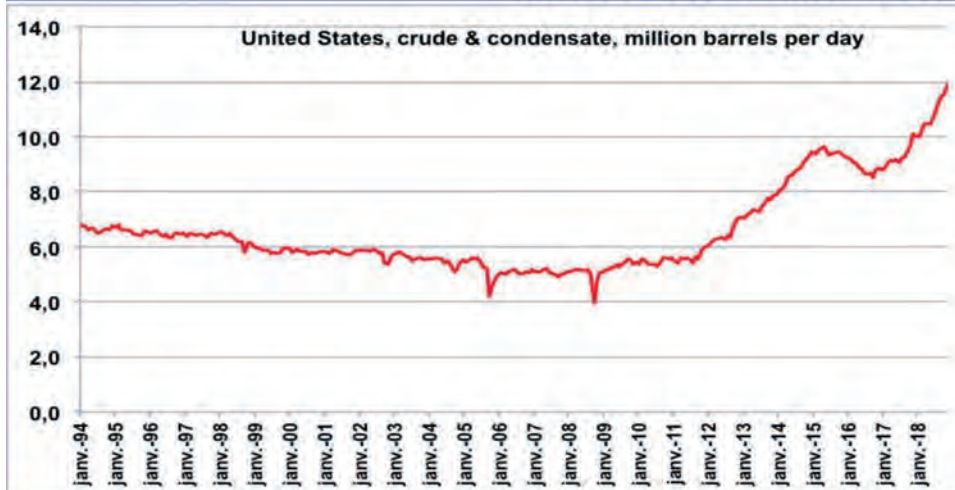
Le pic, une réalité qui se combat ?



Production de pétrole aux USA (≈ 14% de la production mondiale), en milliers de barils/jour. Source BP Statistical Review, 2018

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Un petit coup de microscope



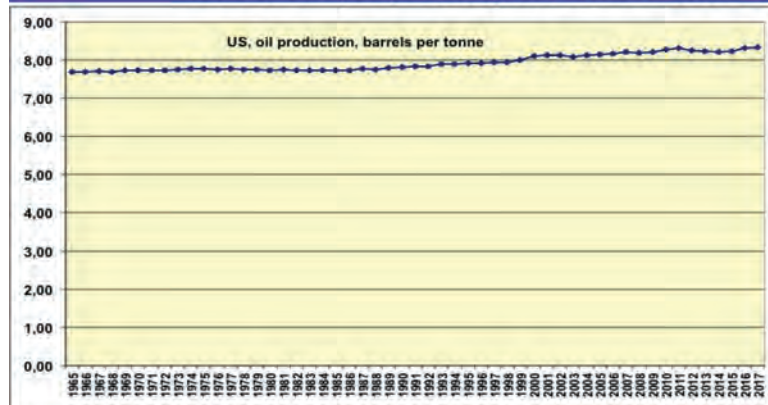
Production de pétrole + condensats aux USA, en millions de barils/jour. Source Energy Information Agency, 2019

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Facteur aggravant le pic :

- le contenu énergétique d'un baril diminue avec le temps
- pour être précis il faudrait ne plus compter le pétrole en barils, cela surévalue (et de plus en plus) l'énergie disponible

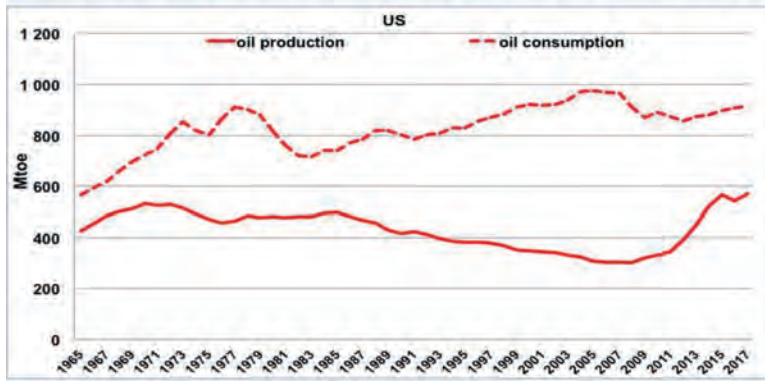
Mais le baril, ça pèse toujours la même chose ?



Nombre de barils pour faire une tonne de pétrole aux USA. Calculs Jancovici sur données BP Statistical Review, 2018

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

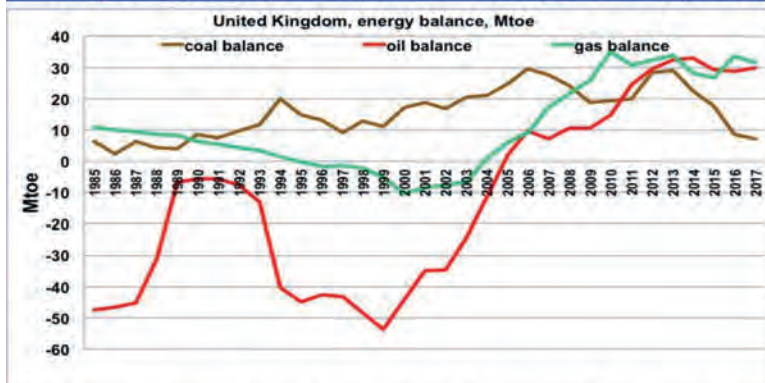
Et l'autosuffisance n'est pas vraiment pour tout de suite



Consommation et production de liquides aux USA, en millions de tonnes par an. Données BP Statistical Review, 2018

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

On peut exporter puis importer ailleurs que dans le pétrole



Solde énergétique par énergie fossile en Grande Bretagne, en millions de tonnes équivalent pétrole par an. Données BP Statistical Review, 2018

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

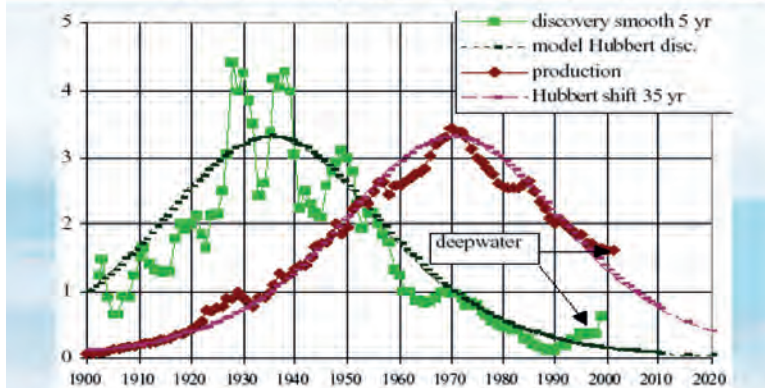
Des découvertes à la production



Temps qui sépare la découverte de la production, pour une fraction donnée des réserves ultimes (cas de la Norvège). Source report 117, BITRE, Australian Government, 2009

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

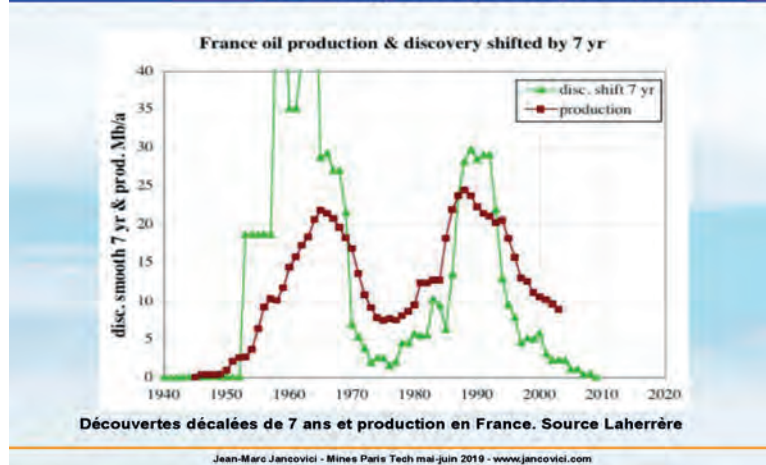
Découvertes et production se ressemblent souvent



Découvertes et production aux USA : une « même tête », mais pas au même moment. Source Laherrère, 2004

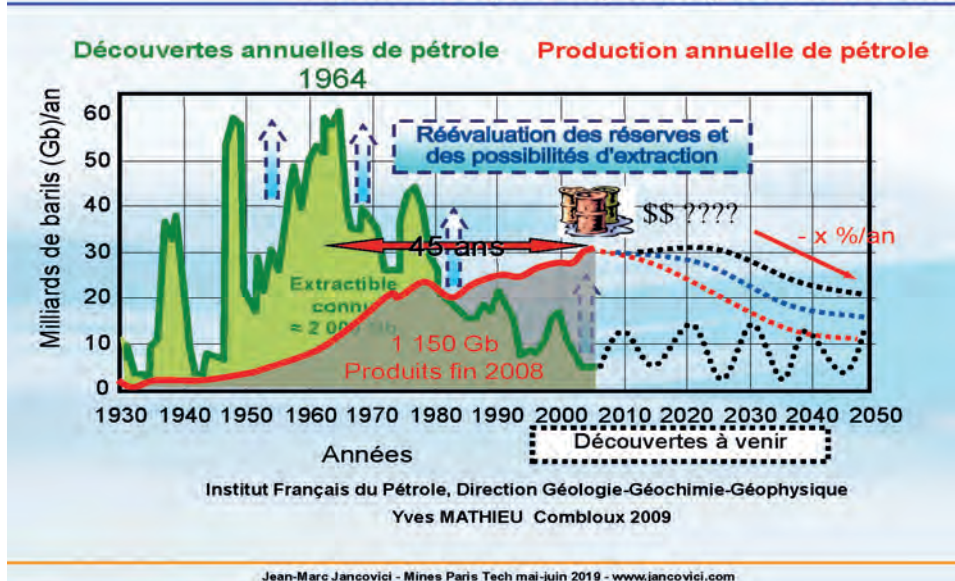
Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

En France, peu de pétrole, mais deux pics !



Pétrole conventionnel = +75% production

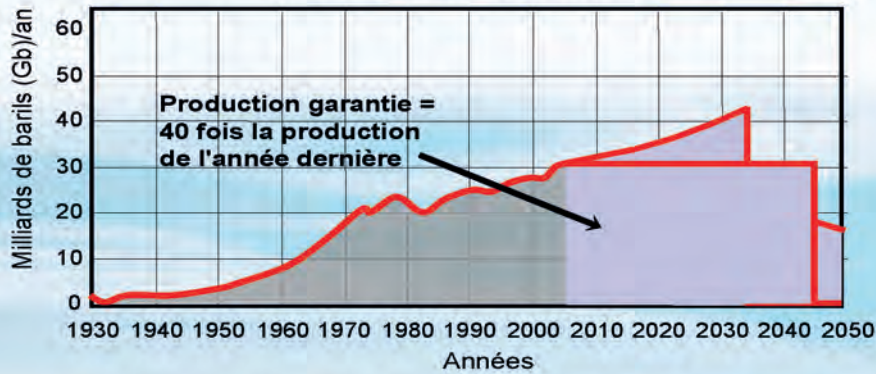
Des idées et pas de pétrole, voilà le résultat



Pic peut-être anticipé :

- maximum des découvertes de pétrole dans le monde 1964
- pic estimé à 5 décennies
- à partir de quoi s'ouvre une période de forte oscillation des prix
- puis déclin de la production (20 à 30 ans)

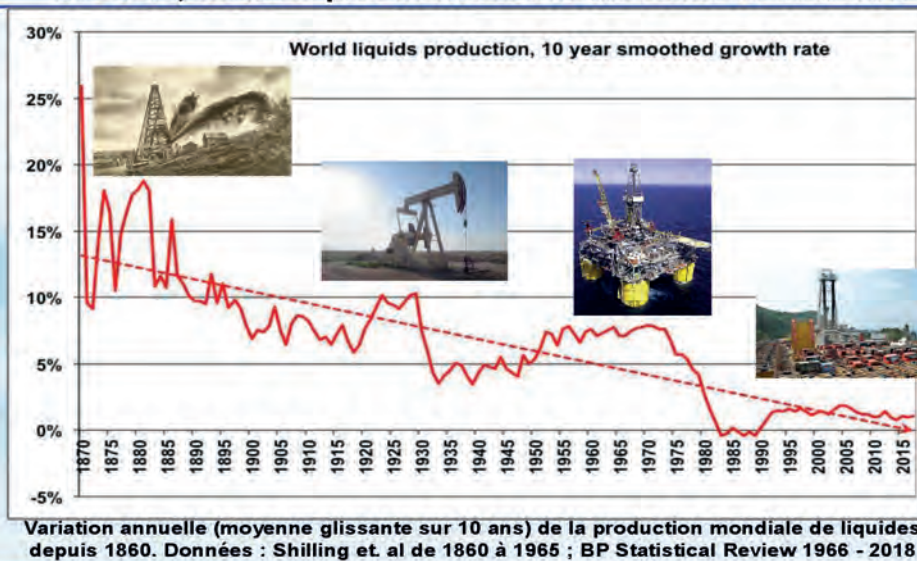
**Version très sympathique des années, plus rapide, on dit
a été la catastrophe arrivée!**



3 manières de voir « 40 ans de pétrole » pour la production future.

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

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



Variation annuelle (moyenne glissante sur 10 ans) de la production mondiale de liquides depuis 1860. Données : Shilling et al de 1860 à 1965 ; BP Statistical Review 1966 - 2018

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Déclin inéluctable mais pas assez rapide pour respecter les engagements sur le climat.
Il faudrait provoquer un déclin plus rapide que celui imposé par la géologie (joue le rôle de "voiture balais")

Conséquence du déclin de l'approvisionnement :

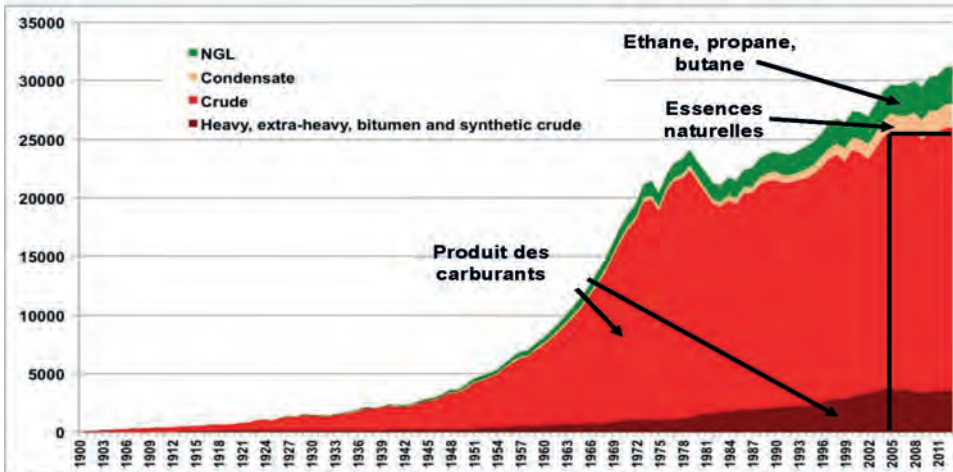
- réduction du débit futur
- réduction équivalente de la croissance économique

> la question du stock global encore disponible est par conséquent secondaire par rapport à l'accès à ce stock

Chapitre 13 - Perspectives

Pic franchi ?

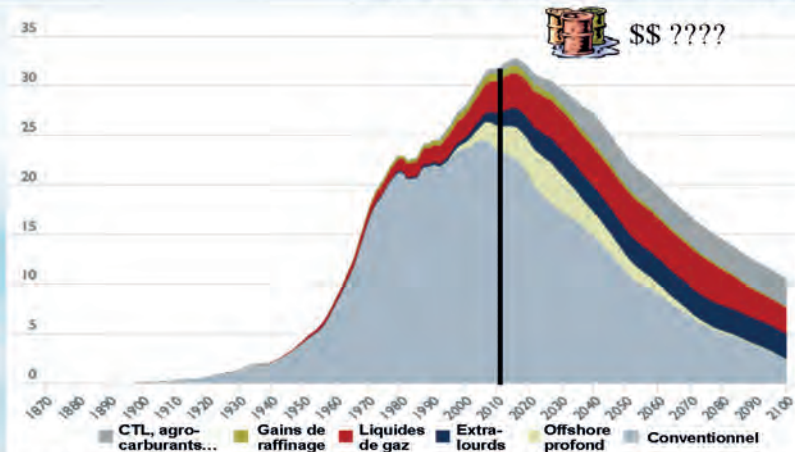
Il y a toujours pétrole et pétrole...



Production mondiale de liquides décomposée par catégorie depuis 1900. Données non publiques.

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Et le pic mondial, il est loin papa ?



Simulation de la production mondiale de « liquides », discriminée par type de production.

Source : « Transport energy futures: long-term oil supply trends and projections », Australian Government, Department of Infrastructure, Transport, Regional Development and Local Government, Bureau of Infrastructure, Transport and Regional Economics (BITRE), Canberra (Australie), 2009

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com



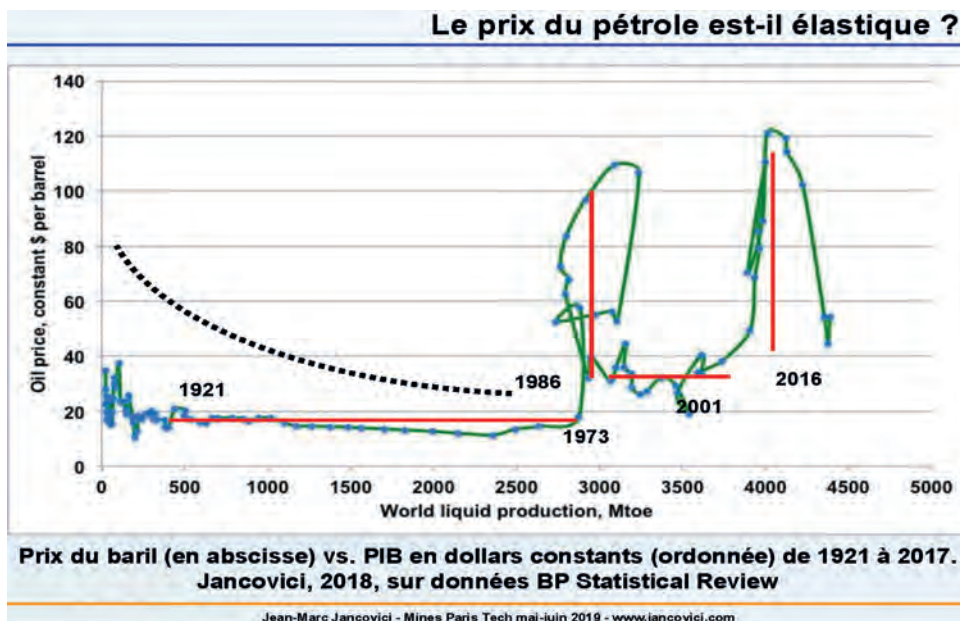
« Global conventional crude oil production peaked in 2008 at 69.5 mb/d and has since fallen by around 2.5 mb/d »

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.

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

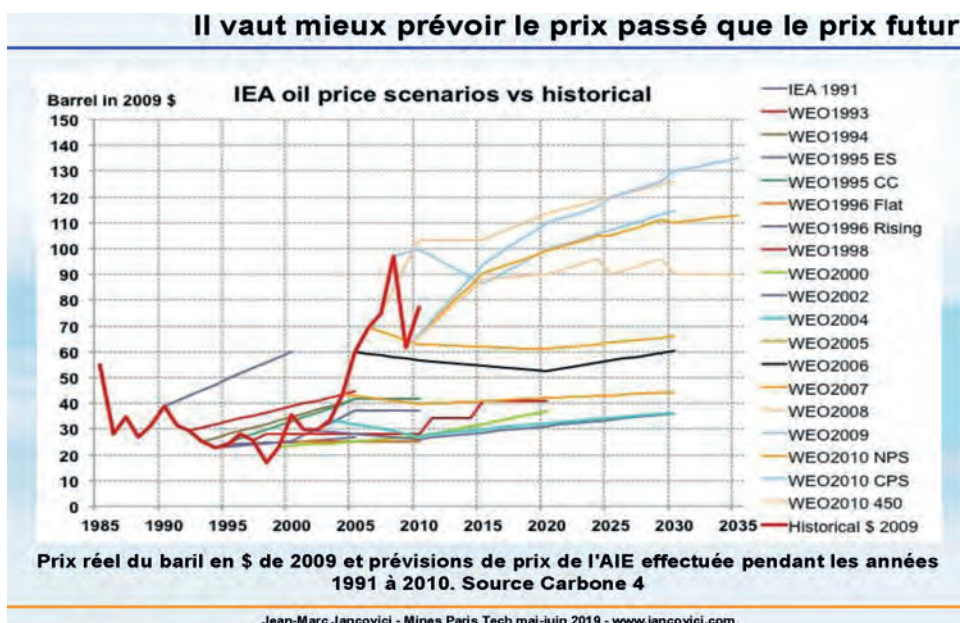
- Plus ou moins 2020 pour tous les "liquides" confondus.
- L'agence internationale de l'énergie en décembre 2018 indique que le pic du pétrole conventionnel (c'est à dire pétrole - shale oil et sables bitumineux) a été franchi en 2008
- pour satisfaire la demande future de pétrole, il faudrait multiplier par 3 la production de shale oil aux Etats-Unis (les plus opti-

mistes x2 et pour une durée inconnue)



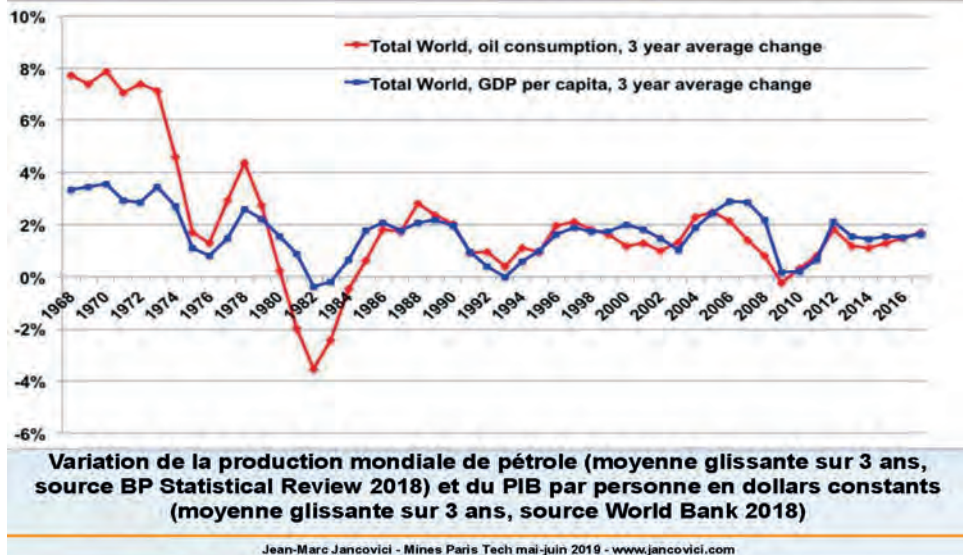
Insuffisance de l'offre n'a pas pour corollaire un ajustement par le prix. L'envolée des prix ne sera pas le signal de la raréfaction :

- marqueur 1 : investissements croissants, hausse des investissements nécessaires pour mettre en place des puits. Indicateur : les Capex
- marqueur 2 : contraction de l'économie. Indicateur : PIB



Projection sur le prix du pétrole impossible à établir : l'Agence internationale de l'énergie se trompe systématiquement

Puis-je avoir de l'économie sans pétrole ?



Corrélation parfaite entre :

- la quantité de pétrole produite
- le PIB par personne

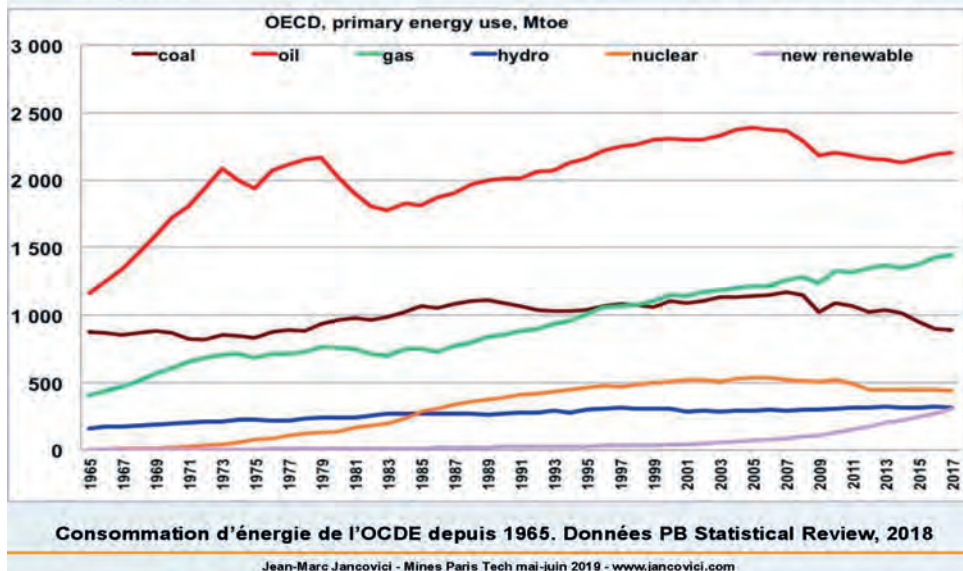
> l'économie est totalement dépendante du pétrole (le pétrole est ce qui relie les machines entre elles, leur production)

- depuis les chocs pétroliers cette dépendance s'est accrue
- gain d'efficacité des machines signifie également plus grande dépendance
- la mondialisation en allongeant les chaînes de flux logistiques a encore accru la dépendance

La variation de production de pétrole détermine la variation de PIB, non l'inverse

- évidemment ... la croissance ne vient pas de Mars
- c'est parce qu'il y a du pétrole pour animer les machines que la production / le PIB augmente

Autant de pétrole qu'on veut, qu'il paraît ?

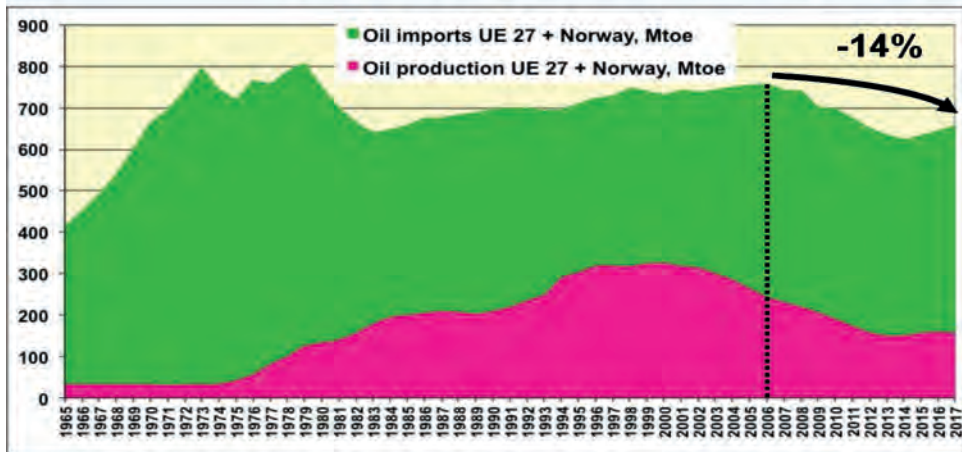


Evolution prévisible : lorsque le shale oil atteindra son pic, la croissance va mécaniquement baisser et une récession inévitable

Confirmation si on observe la consommation d'énergie des pays de l'OCDE :

- 2006 : baisse de la consommation > ralentissement PIB
- 2008 : crise financière due à une montagne de dettes publiques (qui s'entassent depuis le premier choc pétrolier pour assurer la pérennité du système redistributif) et privées

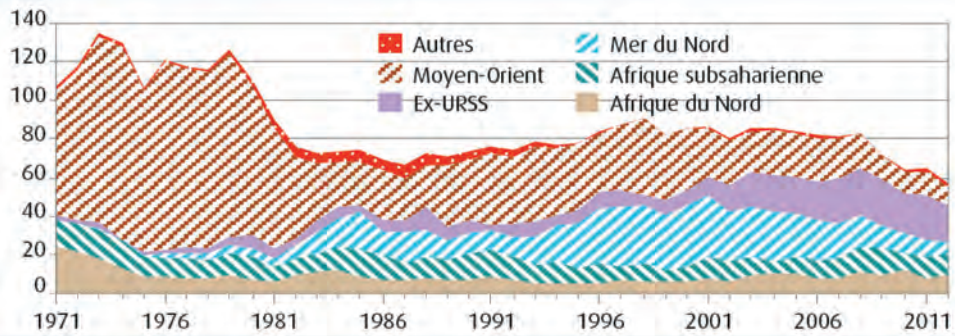
Camionneur en Europe, un métier d'avenir ?



Approvisionnement pétrolier de l'Union+Norvège depuis 1965. Jancovici, sur données BP Statistical Review, 2018

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

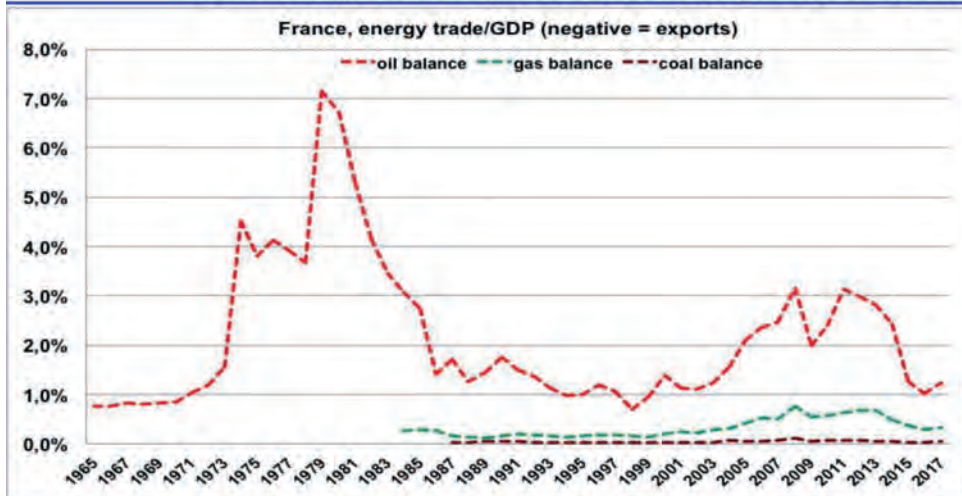
Des idées hexagonales mais du pétrole qui ne l'est pas



Importations de pétrole en France par zone d'origine. Source SOES 2013

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

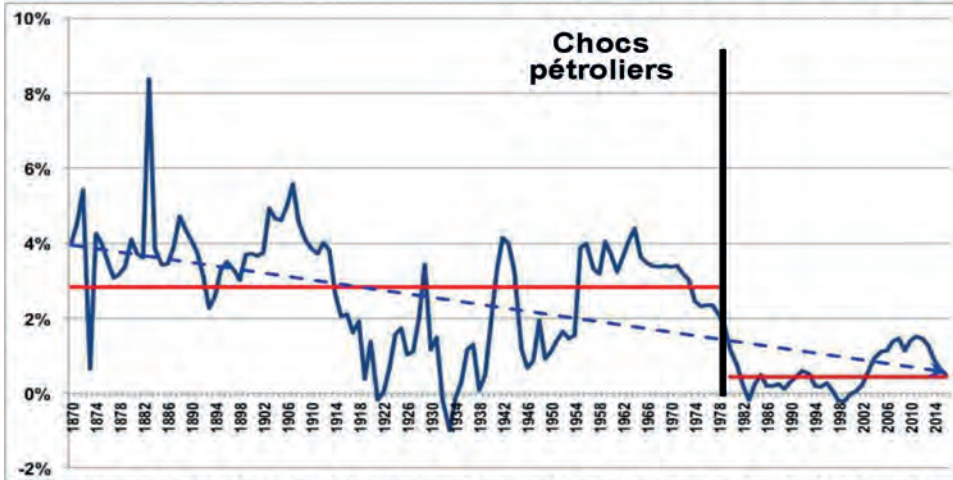
Combien pour mes précieuses énergies fossiles ?



Evolution de la facture pétrolière de la France en % du PIB. Données primaires BP Statistical Review et World Bank, calcul de l'auteur

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

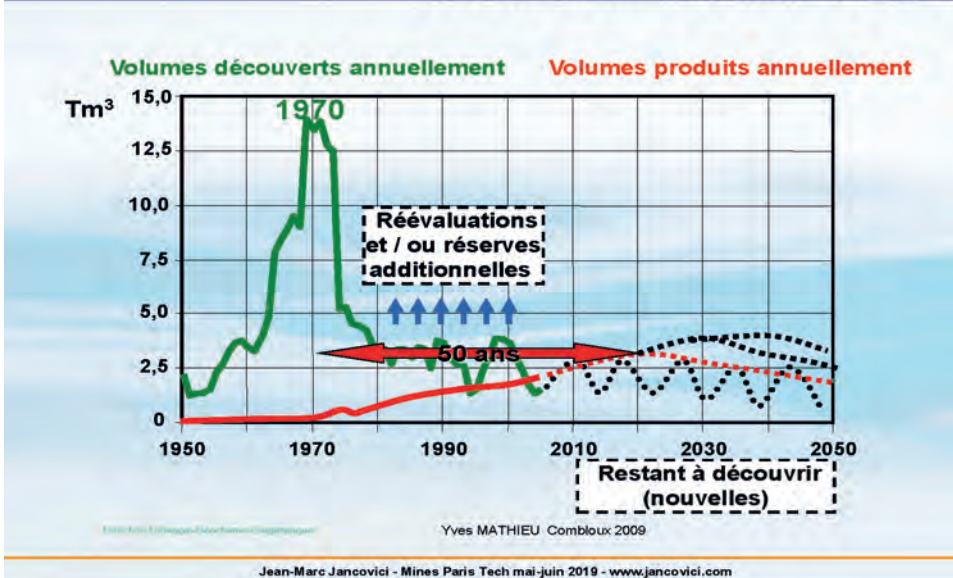
Quel signal faut-il observer ?



Variation annuelle de la consommation d'énergie par personne (monde), de 1860 à 2016.
Source : Jancovici, 2017, sur données Schilling et al., 1977, BP Statistical Review, 2017, UN, 2017

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

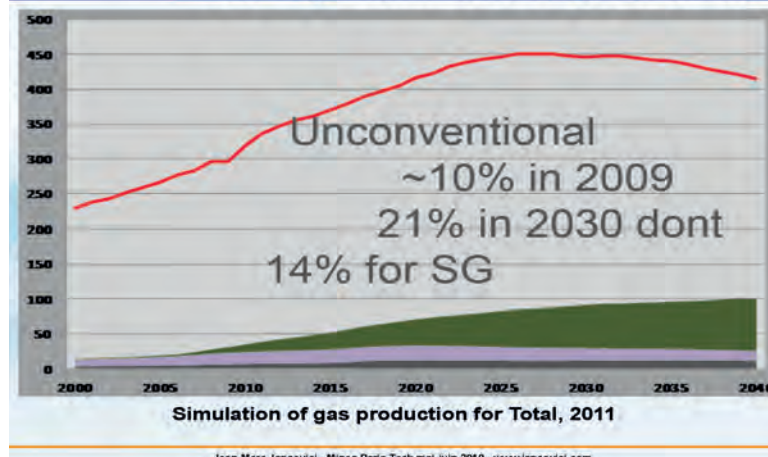
Plus de pétrole ? Mettons les gaz !



Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

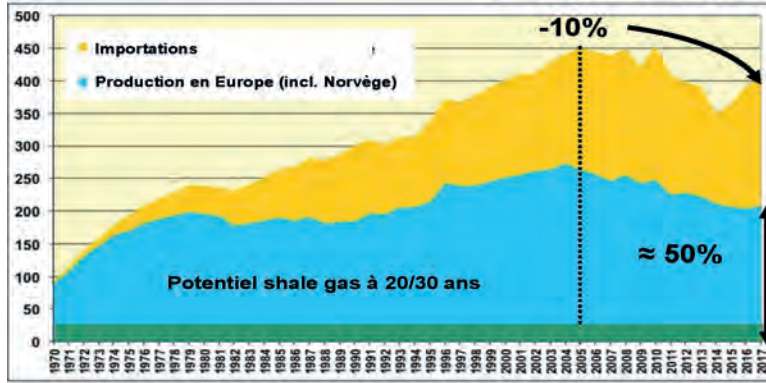
- pic prévu pour 2030 / 2040
- prochaines marches d'escalier pour l'Europe : pic du gaz norvégien vers 2020
- la solution du shale gaz en Europe pas possible :
 - > question de la législation (le sous-sol appartient à l'Etat contrairement aux Etats-Unis où c'est un bien privé, ce qui explique le 1,7 million de puits de pétrole et de gaz actuellement en activité et les 100 000 puits forés chaque année)
 - > densité de population en Europe ne permet pas l'exploitation du sous-sol (d'ailleurs moins intéressant du point de vue ressources) et la mise en place d'infrastructures dédiées (routes, ...)

Plus de gaz normal ? Sus aux gaz de schiste !



Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

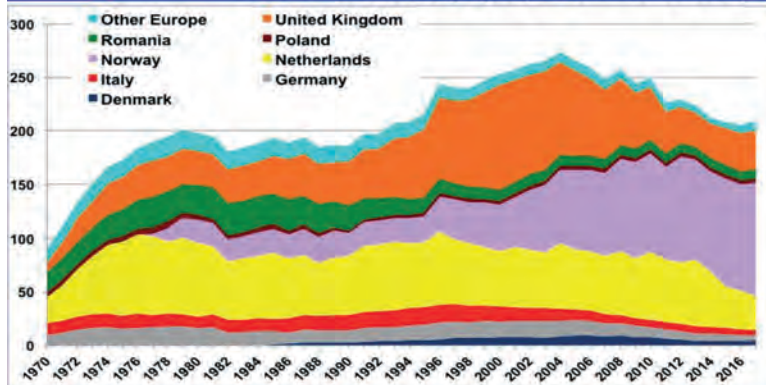
Gaz à tous les étages ?



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

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

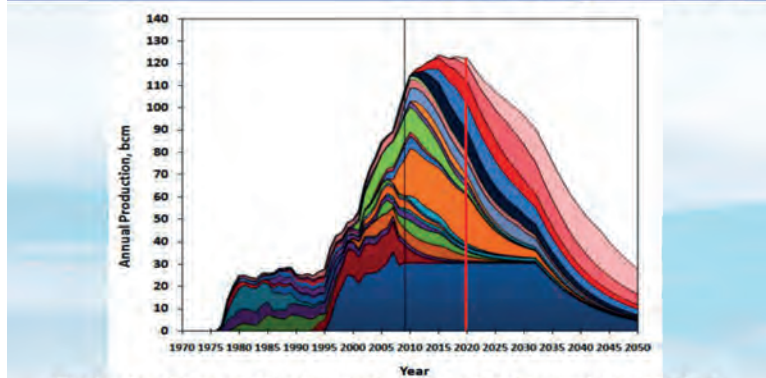
Tout le monde ne pique pas en même temps



Production de gaz en Europe, par pays, en millions de tonnes équivalent pétrole par an. Source BP Statistical Review, 2018

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Vers le haut... puis vers le bas

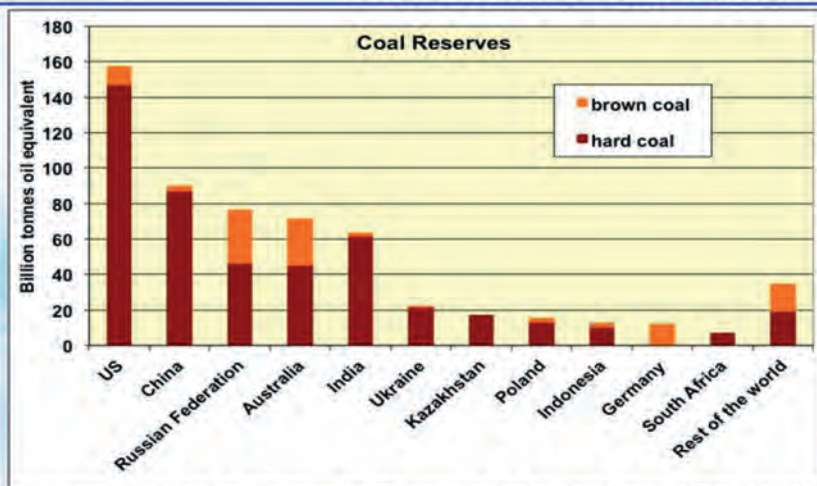


Production de gaz en Norvège, incluant le reste à découvrir ou réévaluer. Source Söderbergh, B., et al., European energy security: The future of Norwegian natural gas. Energy Policy (2009)

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Charbons

Le problème se complique encore !



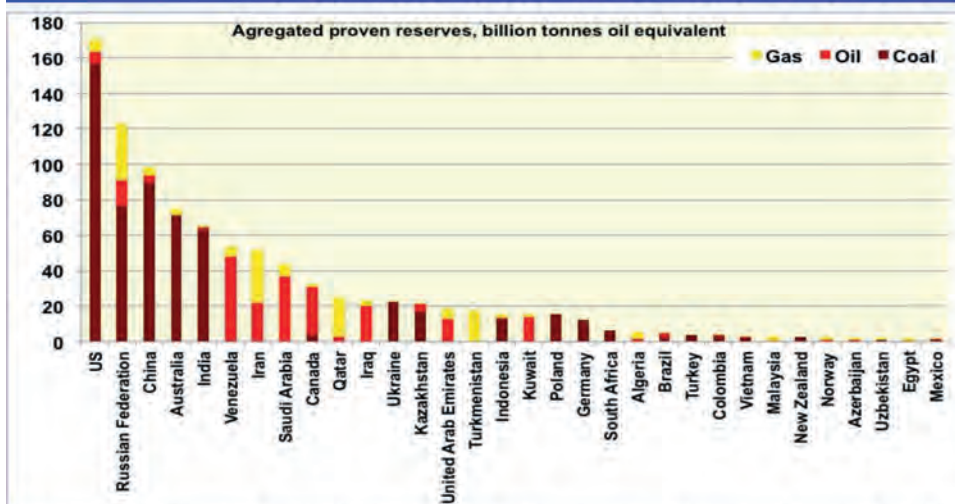
Réserves de charbon par pays, en milliards de tonnes équivalent pétrole (BP Statistical Review, 2018). 10 pays possèdent plus de 90% du charbon mondial !

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

> 2 types de charbon :

- “hard coal” = houille, anthracite, “charbon vapeur” = charbons anciens enfoui dans des galeries profondes et a haute teneur en carbone
 - “brown coal” = lignite = charbon jeune qui n’est pas allé jusqu’au terme du processus de pyrolyse, riche en eau et en éléments incombustibles et près de la surface, qui s’exploite en mines à ciel ouvert (exemple: Mine de Hambach en Allemagne)
- > énergie domestique, essentiellement dédié à la production d’électricité
 > 10 pays possèdent plus de 90% des réserves
 > énergie la plus émissive de CO2 par Kw/h et la plus disponible en quantité et immédiatement ... le sort climatique est dans les mains de quelques pays

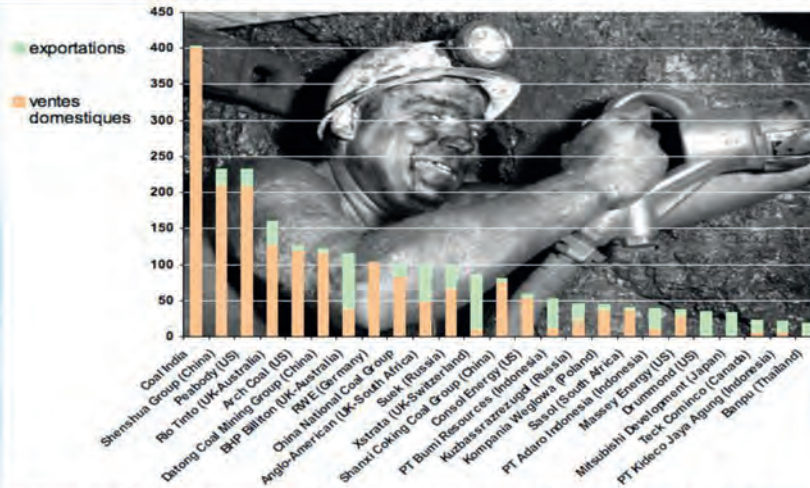
Et qui arrive en tête des réserves de carbone?



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

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Le charbon, une énergie surtout pour « chez soi »

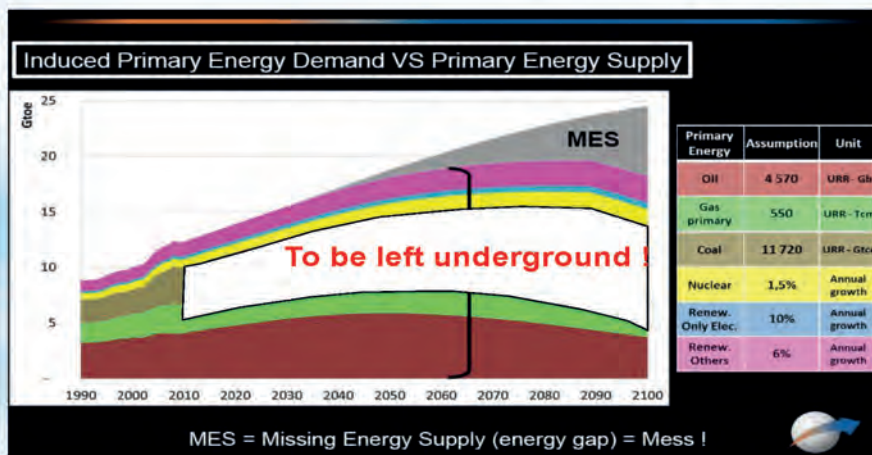


Production des 25 premières sociétés mondiales (total = 35% de la production mondiale).

Source AIE, World Energy Outlook, 2009

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Let's pile everything up



Confrontation of wished demand vs. possible world supply. Source The Shift Project, 2012.

Jean-Marc Jancovici - Mines Paris Tech mai-juin 2019 - www.jancovici.com

Si on cumule les stocks :

- on observe que le charbon domine
- anomalie Etats-Unis : fermeture de centrales à charbon du fait de la chute des prix du shale gaz