

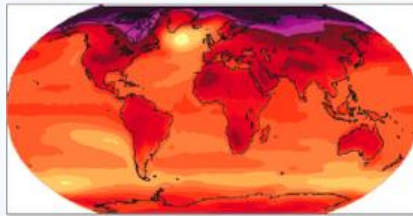
Éléments de base sur l'énergie au 21^è siècle



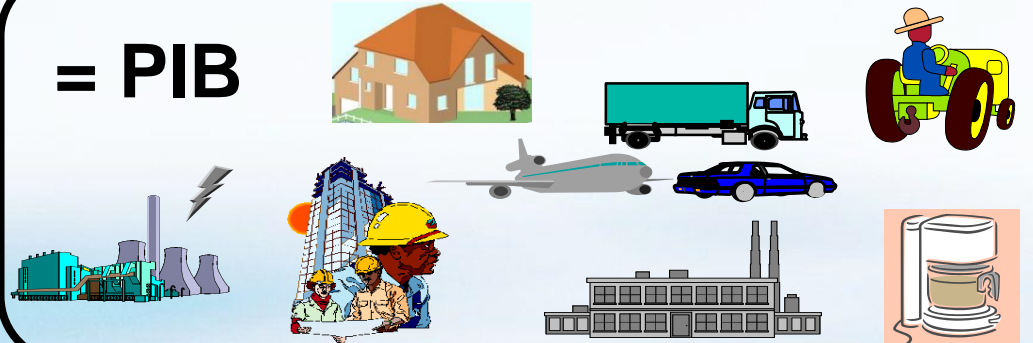
Jean-Marc Jancovici - Mines ParisTech 2019
Partie 2 - Pétrole apocalypse ou carbon paradise ?

Boum ?

**Minerais, sols,
ressources
vivantes...
(gratuits aussi)**

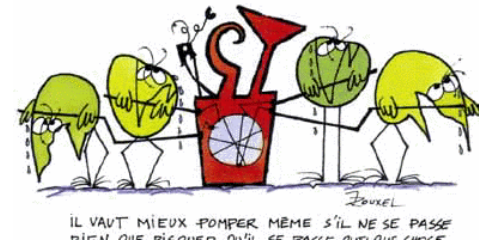
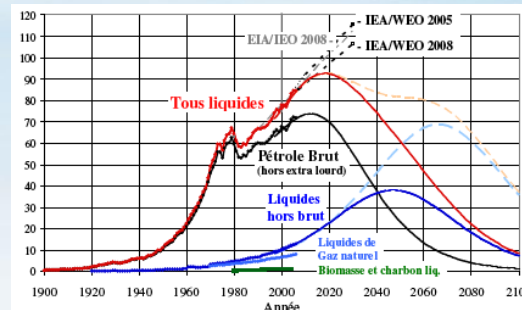
 O_2 

= PIB

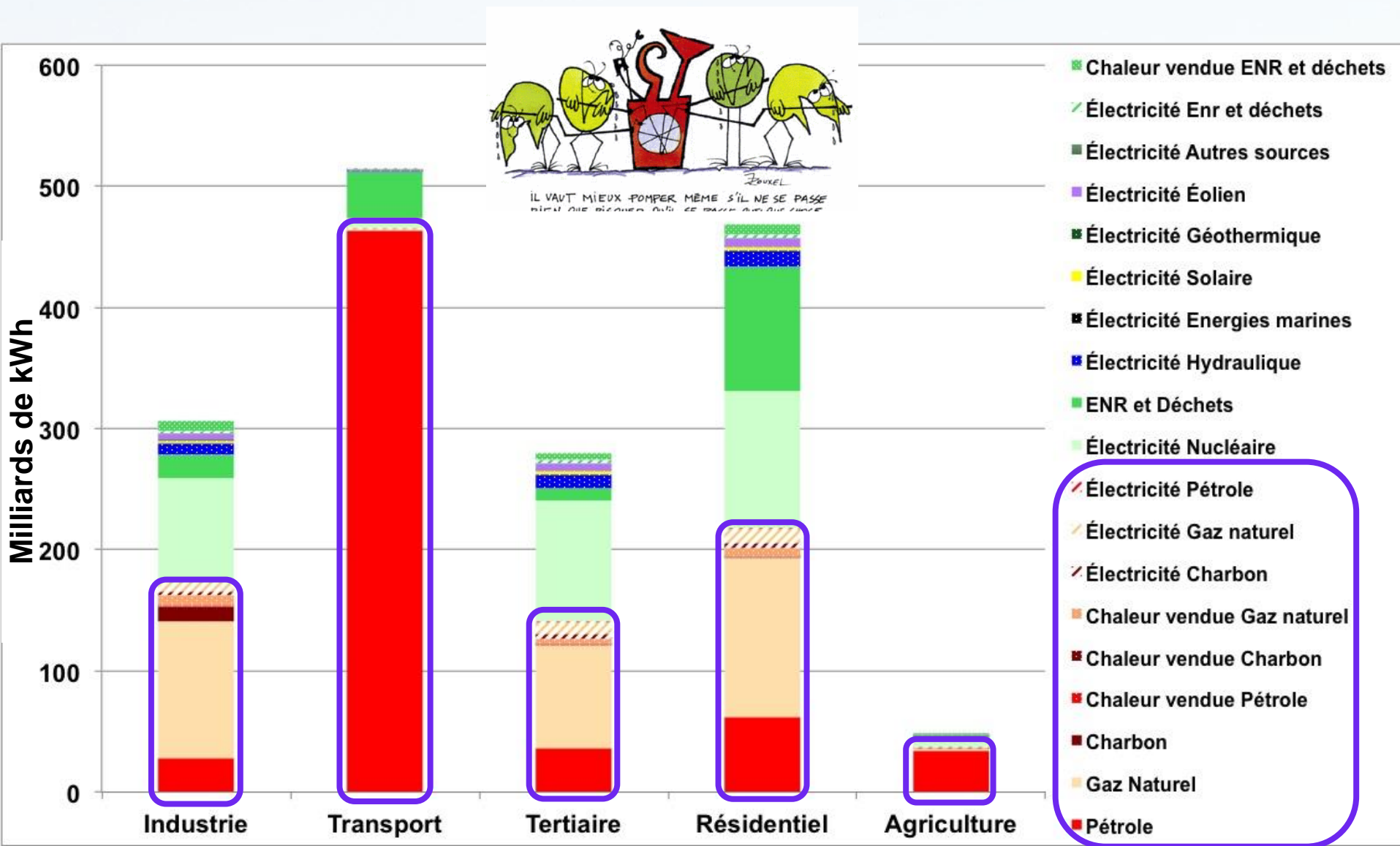


Structure actuelle des métiers, loisirs et vacances, études longues, santé, retraites, mondialisation, concentration urbaine et banlieues étalées...

Crac ?

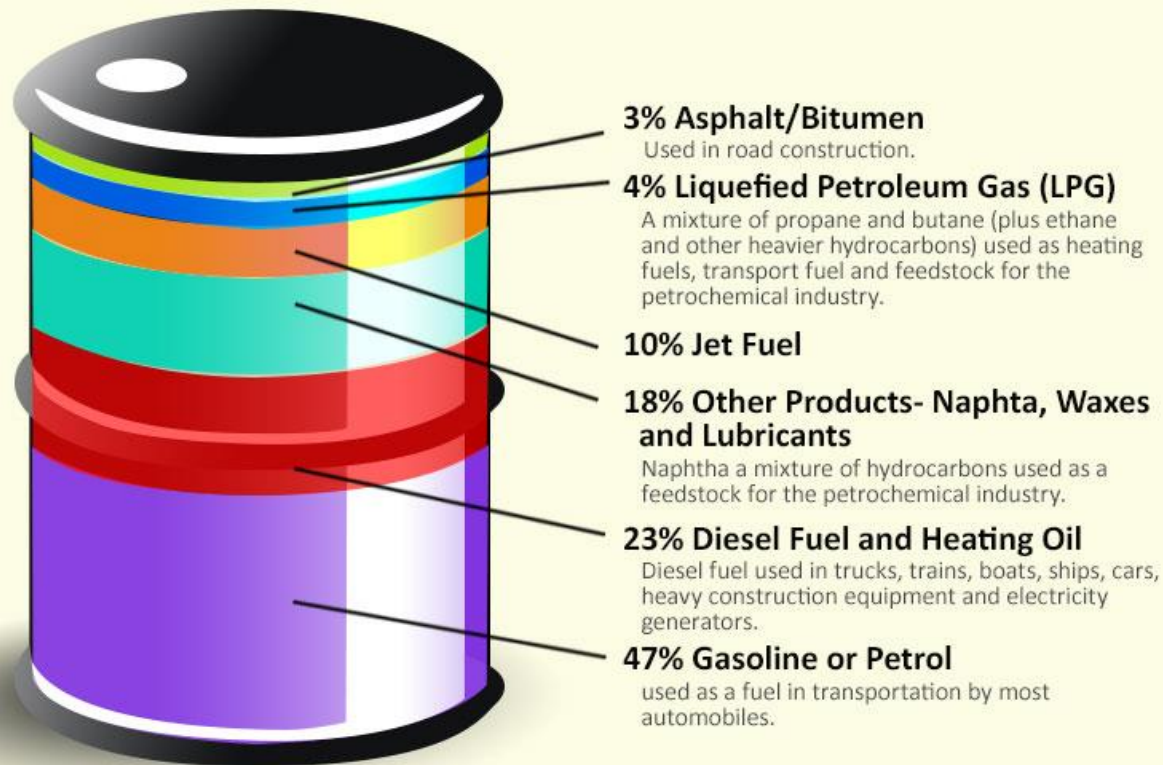


La France, pays « tout nucléaire » ?



Répartition de la consommation d'énergie finale en France en 2018. Source Carbone 4, 2019.

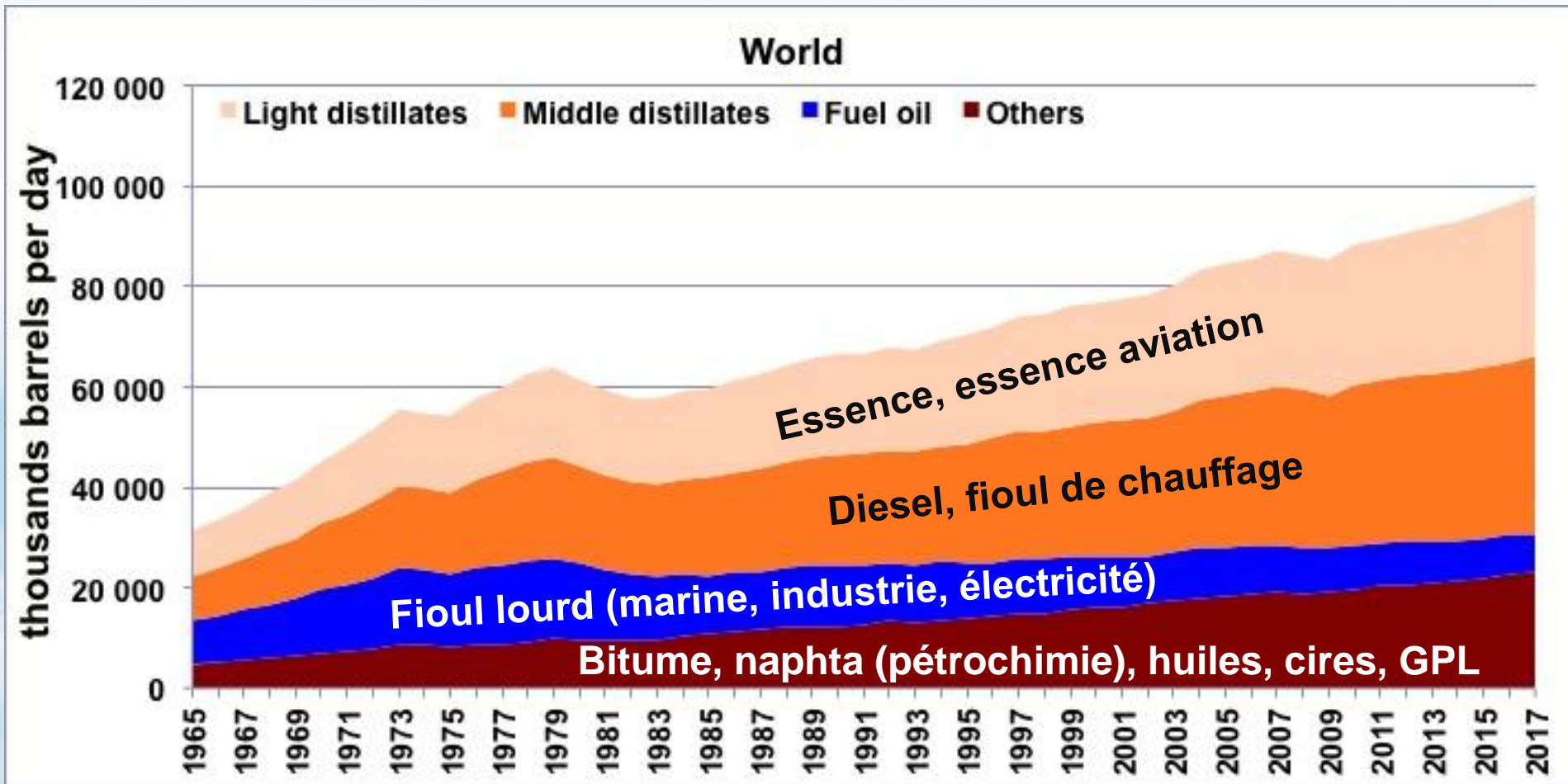
Typical Products made from a 42-Gallon Barrel of Refined Crude Oil



© Pass My Exams

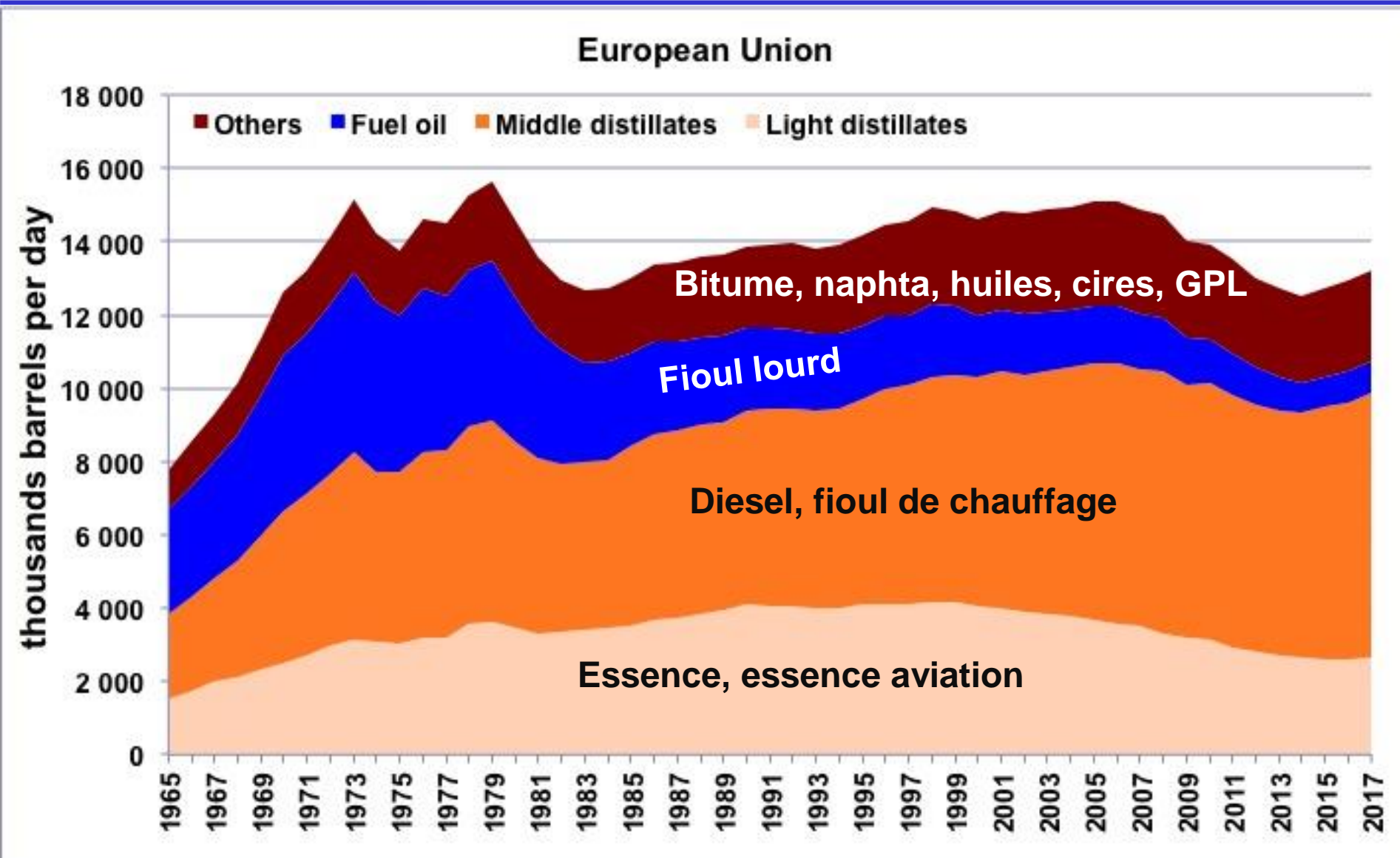
Type de produits obtenus à partir d'un baril de pétrole

Du pétrole, pourquoi faire ?



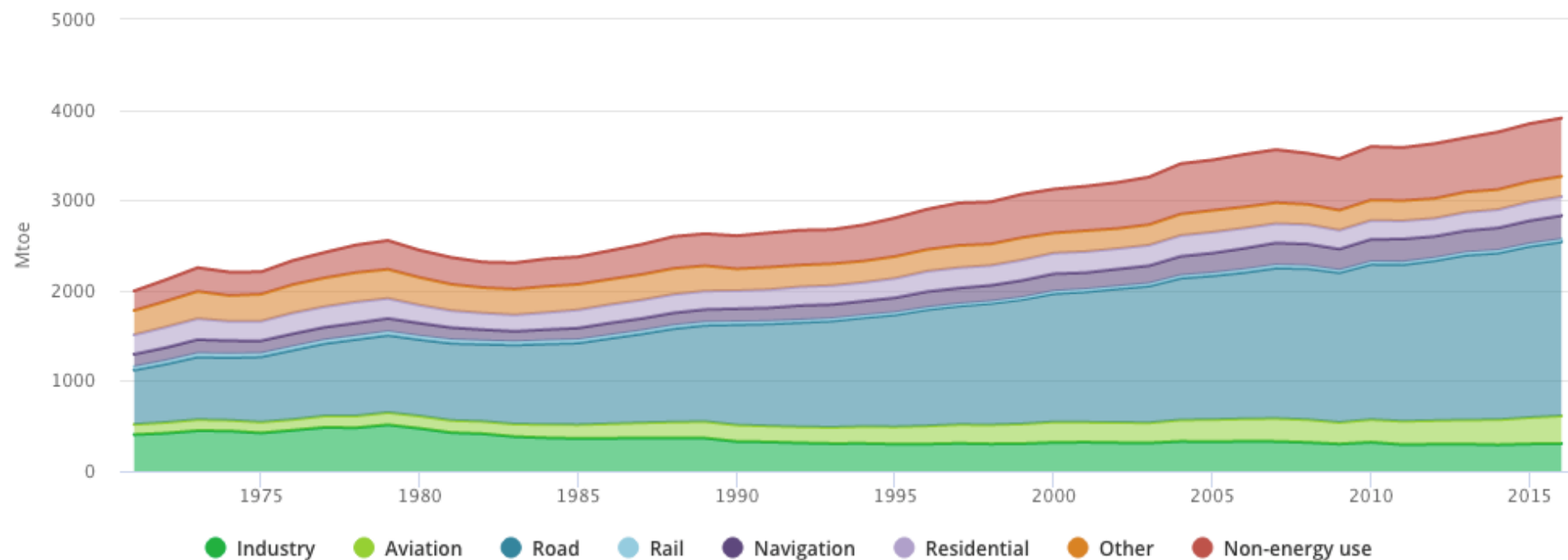
Répartition de la consommation de produits distillés dans le monde depuis 1965. Données BP Statistical Review, 2018

Du pétrole, pourquoi faire ?



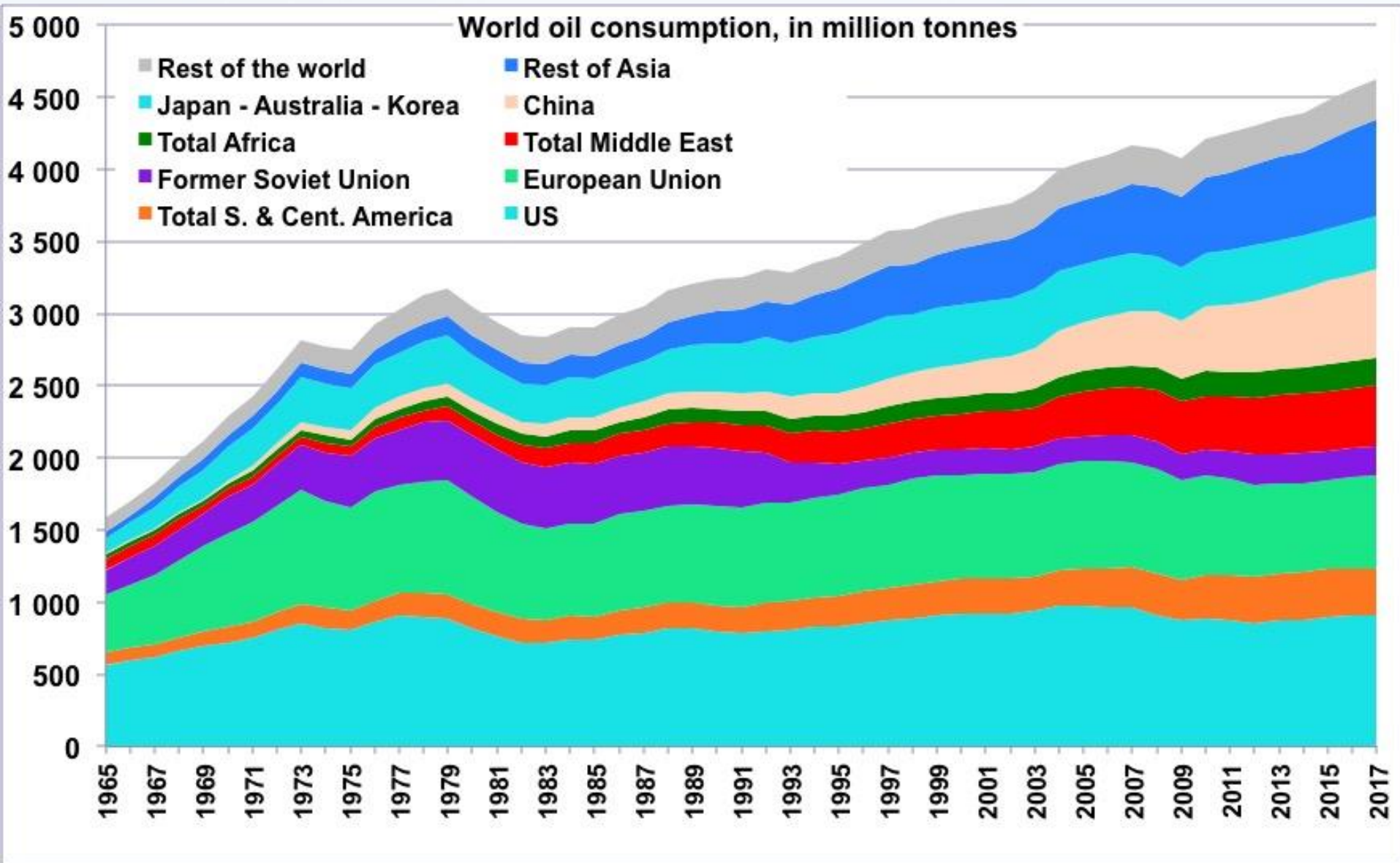
Répartition de la consommation de produits distillés dans le monde depuis 1965. Données BP Statistical Review, 2018

Du pétrole, pourquoi faire ?



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

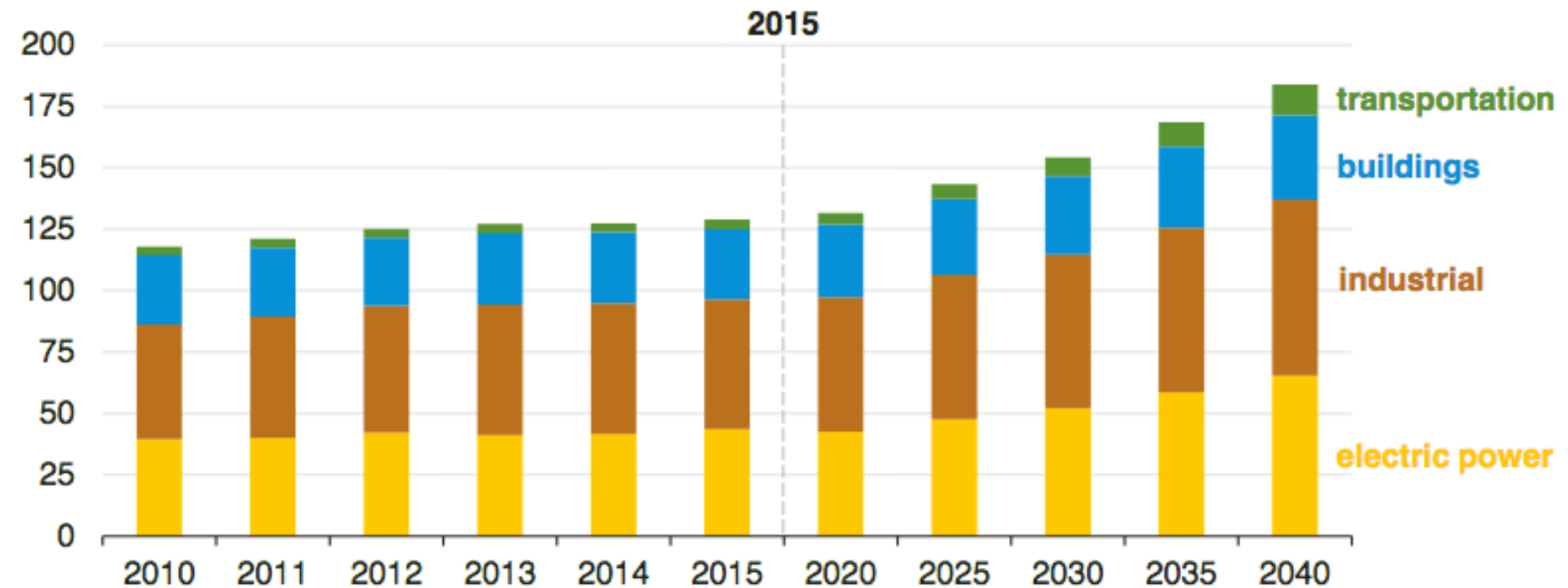
Du pétrole, chez qui ?



Répartition par pays ou zone du pétrole consommé dans le monde. Données IEA, 2018

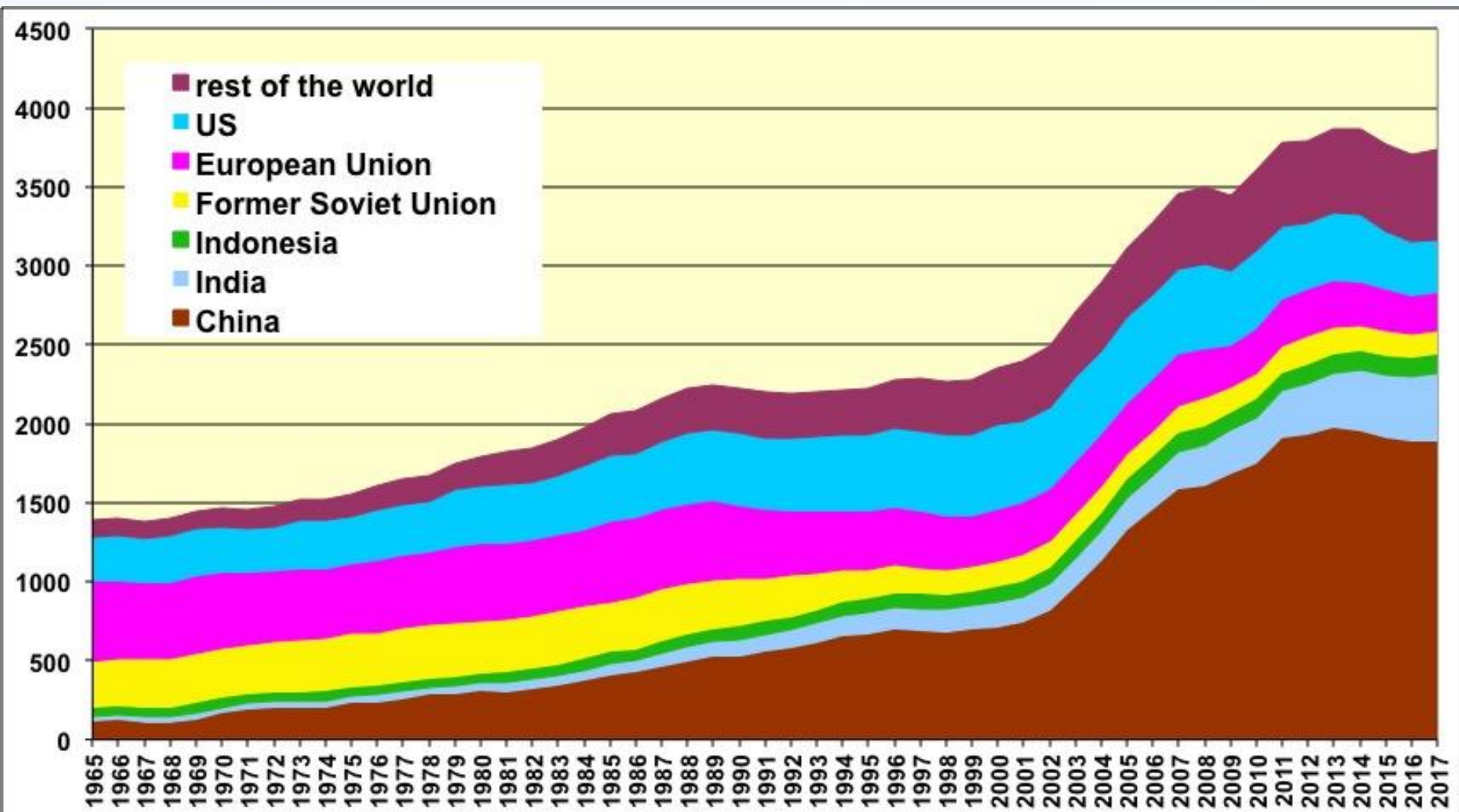
Du gaz, pourquoi faire ?

Natural gas consumption by sector
quadrillion Btu



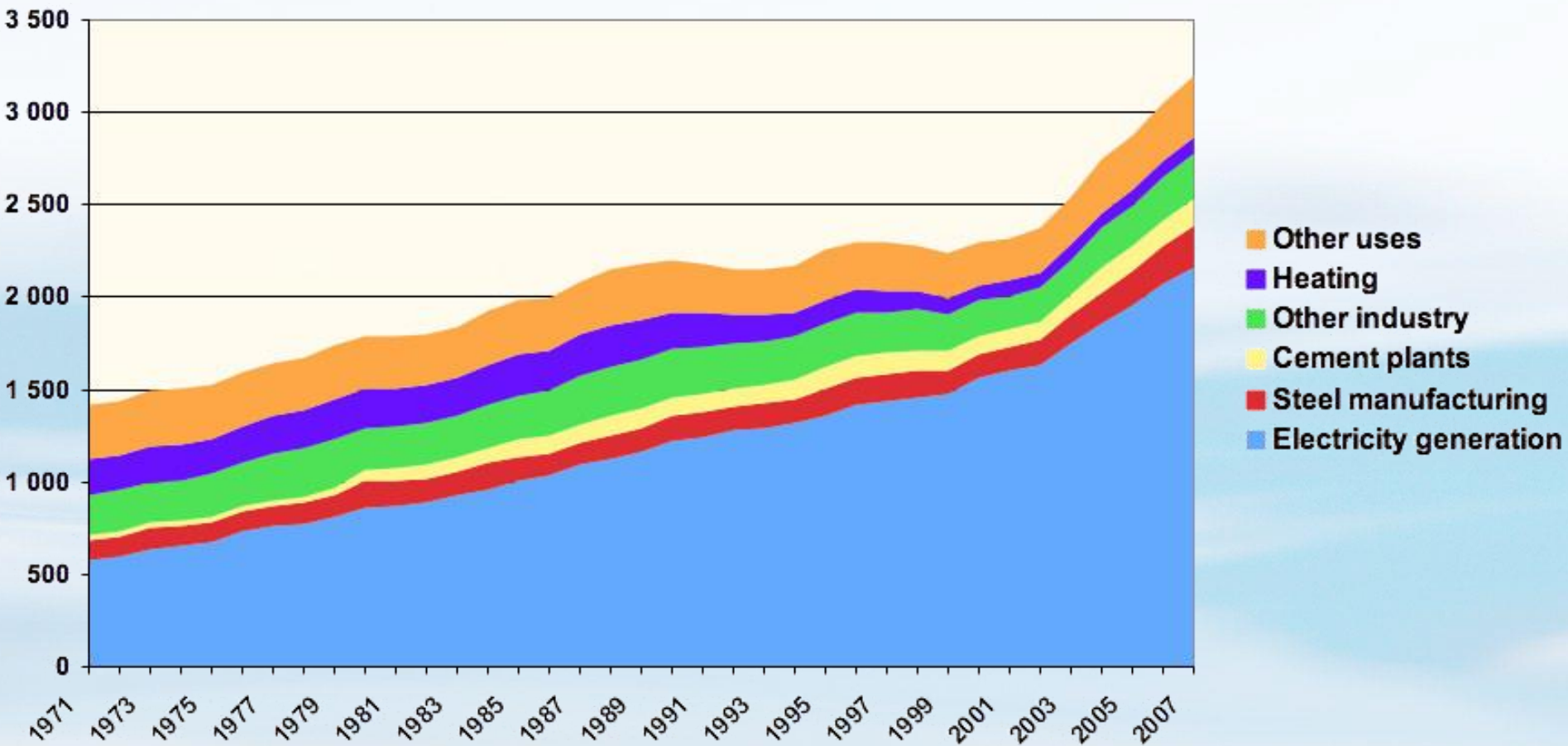
Répartition par usage du gaz consommé dans le monde. Données EIA, 2016

Du charbon, chez qui ?



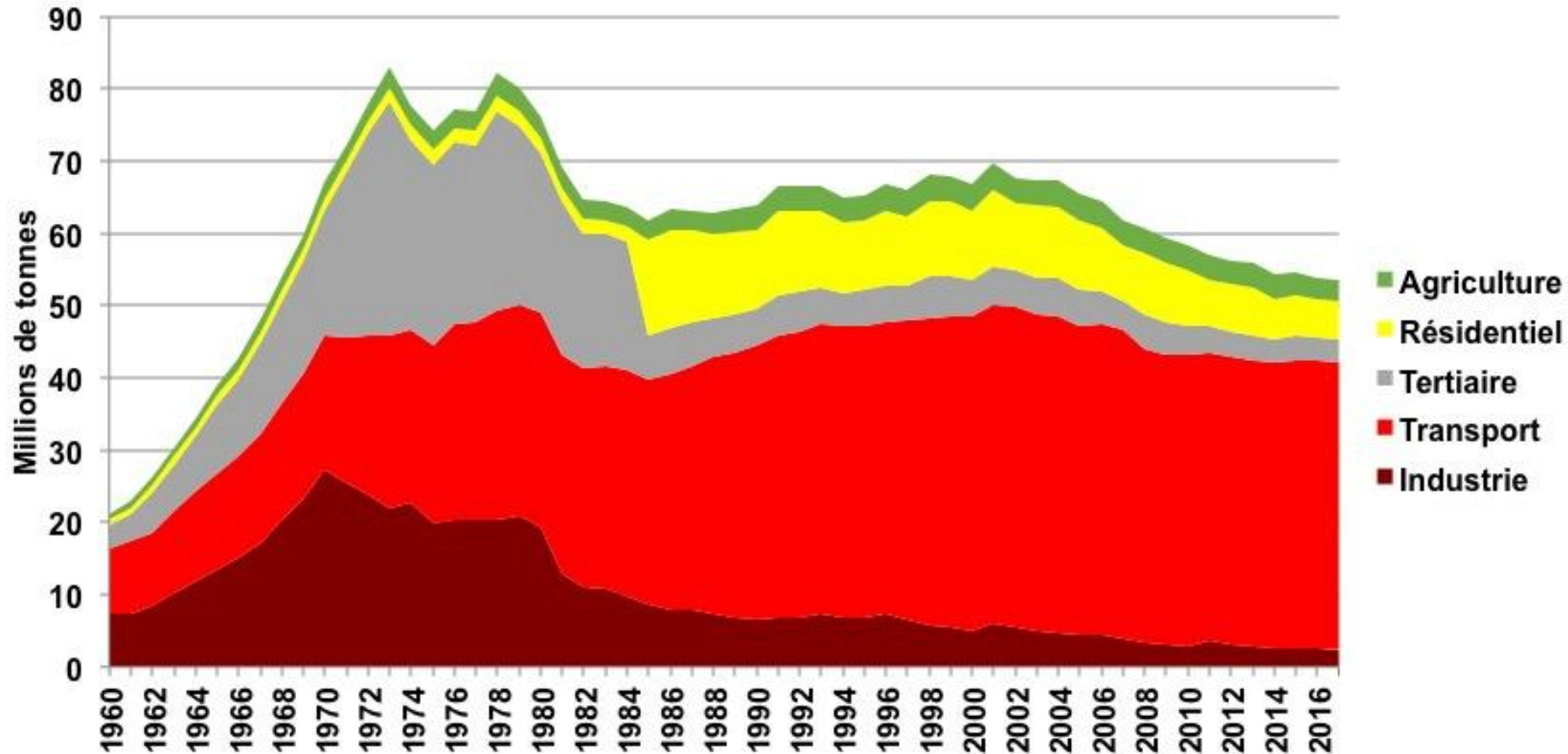
Répartition par pays ou zone du charbon consommé dans le monde. Données BP Statistical Review 2018

Du charbon, pourquoi faire ?



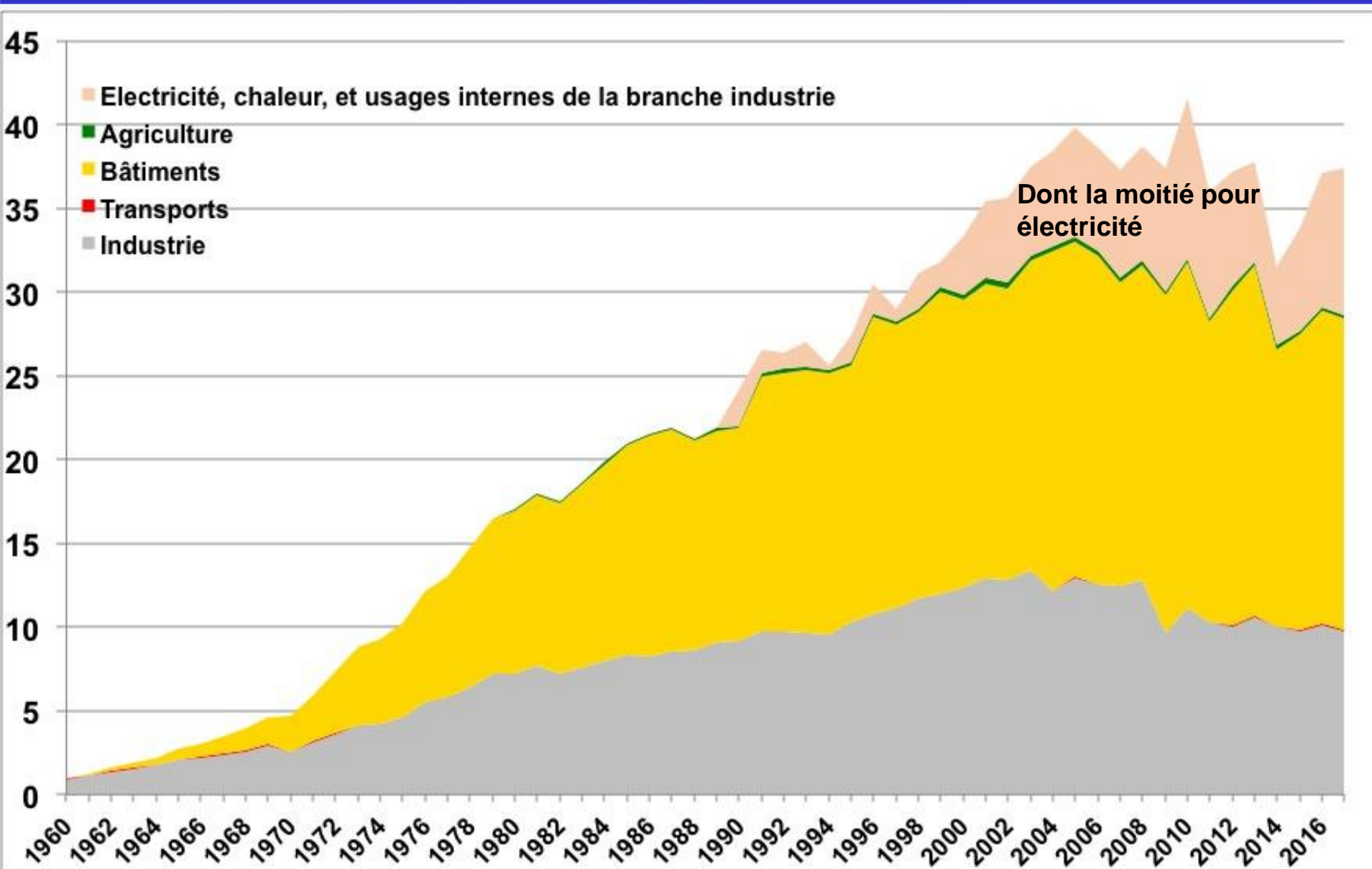
Répartition par usage du charbon consommé dans le monde jusqu'à 2007. Données AIE, 2009

Consommation de produits raffinés à usage énergétique, France métropolitaine



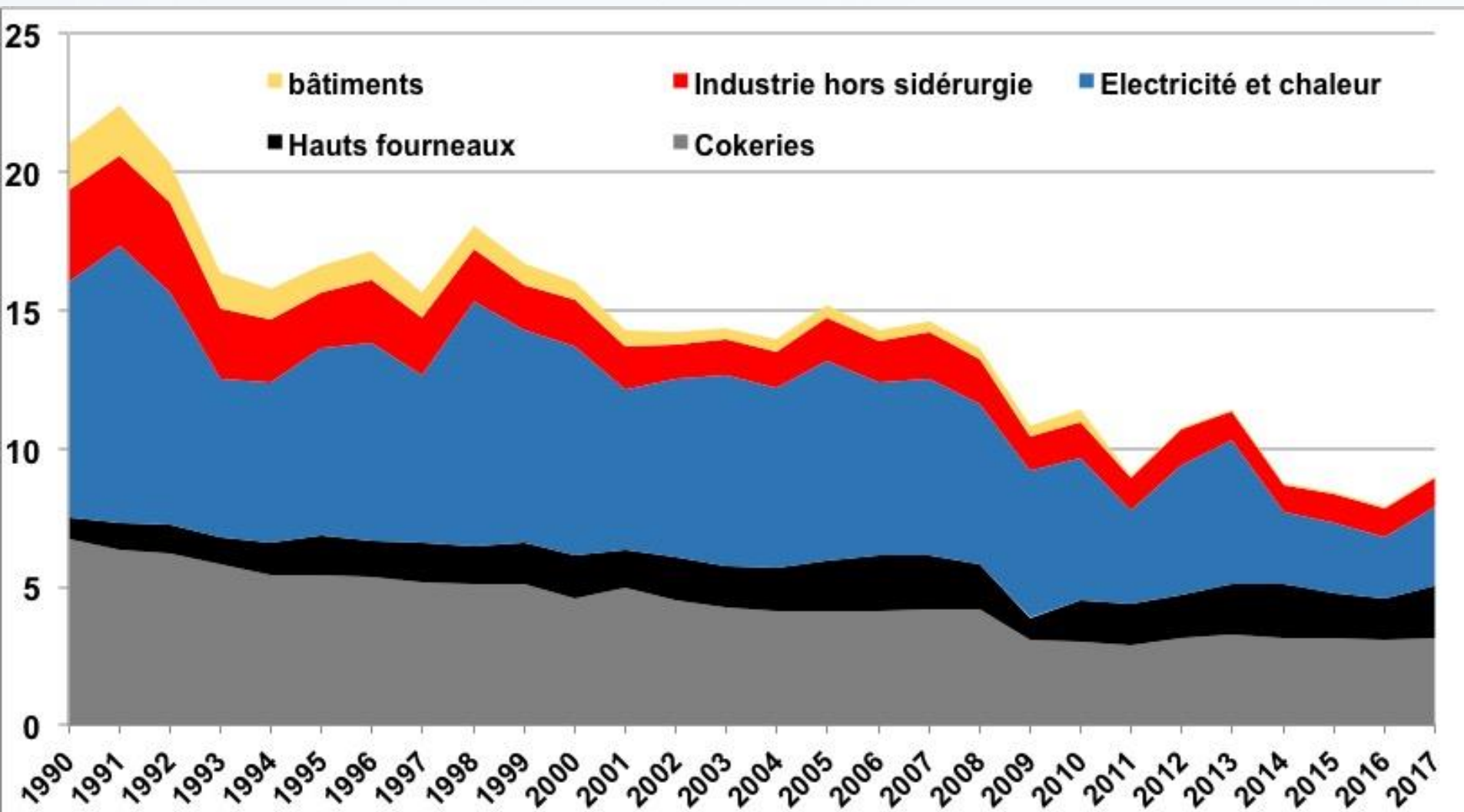
Répartition de la consommation de produits pétroliers en France.
Données CGDD.

Où va « notre » gaz ?



Répartition de la consommation de gaz « énergie » en France. Données CGDD.

Où va « notre » charbon ?

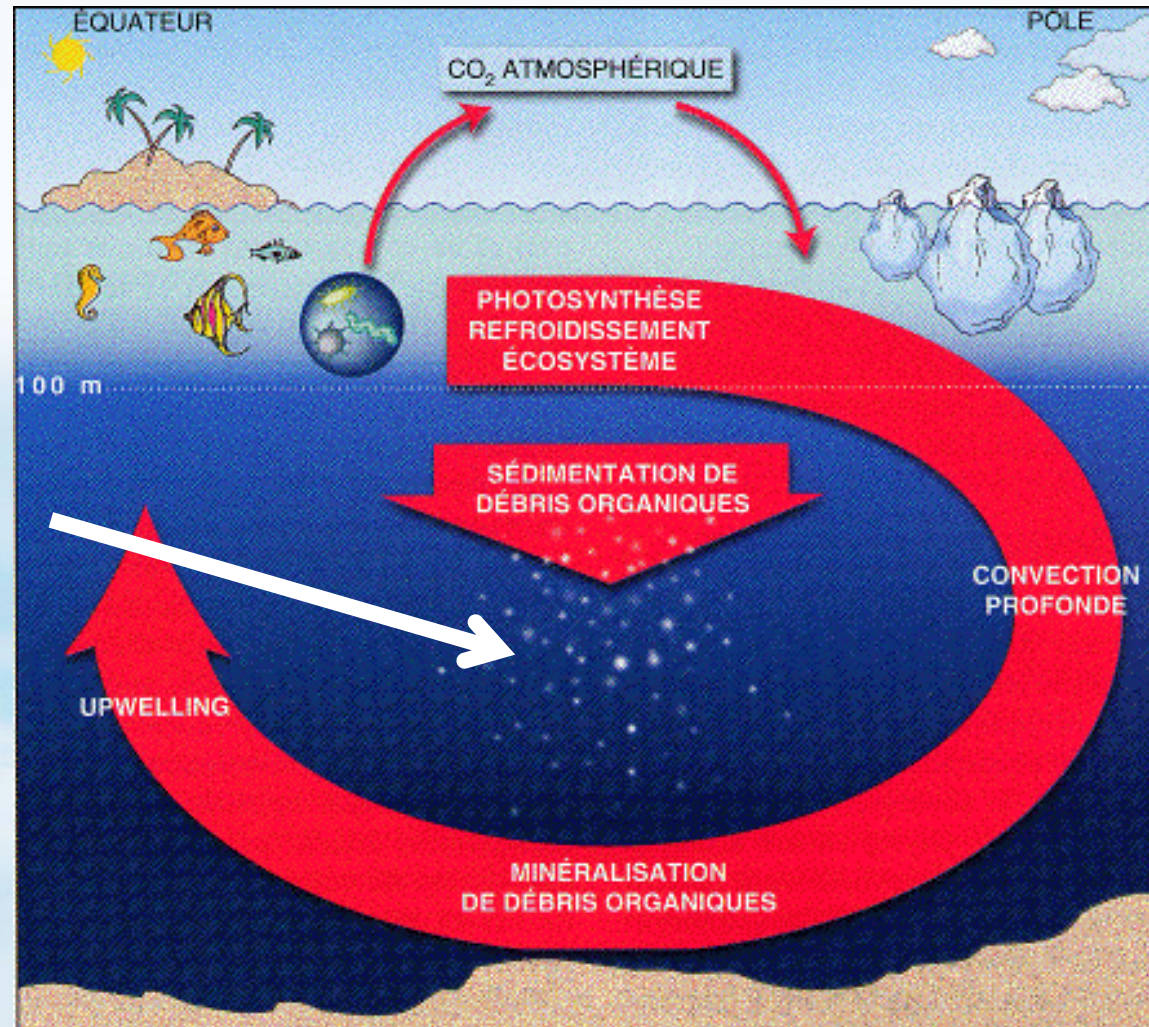


Répartition de la consommation de charbon en France. Données CGDD.

L'aventure du pétrole commence à la plage ou presque

Futur pétrole

Il faut juste attendre 10 millions à 1 milliard d'années !

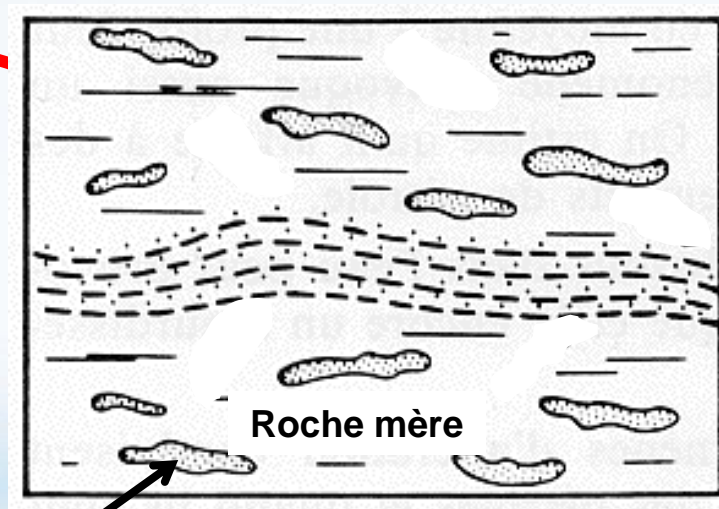


**1% des débris
sédimentent**

Le pétrole aime la cuisson à petit feu

Tectonique

+ 0,5 à
20° C par
million
d'années

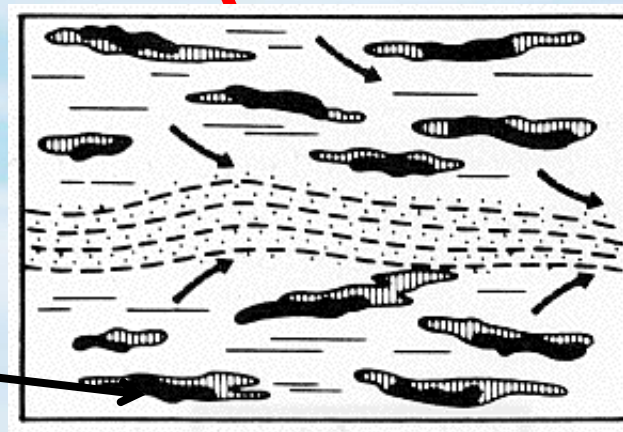


Roche mère

50 à 120 ° C :
dégradation bactérienne
(biochimique) avec
expulsion d'eau et de
CO₂, et formation de
kérogène

Matière organique
incluse dans le
sédiment

Il reste du
carbone sans
hydrogène : du
charbon



Un peu plus chaud :
pyrolyse du kérogène,
avec expulsion d'huile
(pétrole) et de gaz
(méthane) = migration
primaire

Fougères à la place de plancton =
charbon + gaz (grisou ou... coal
bed methane)

Pyrolyse incomplète du kérogène
planctonique = schistes bitumineux
(oil shales)

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

S'il y a plus de 500 mètres d'eau sous la plate-forme, offshore profond

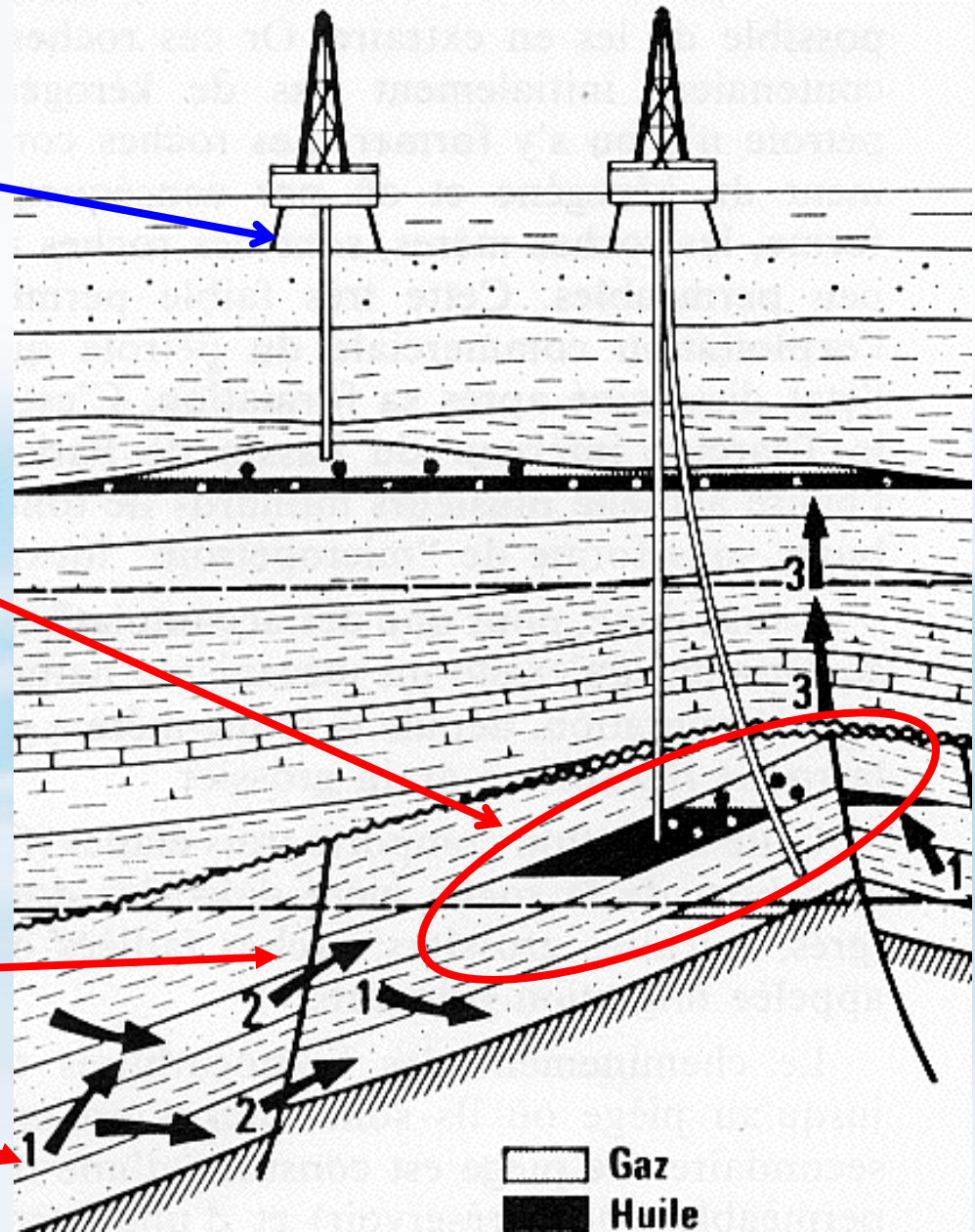
Pétrole « conventionnel »
Lente accumulation de gaz et d'huile dans une **roche réservoir** (qui en général contenait de l'eau)

Roche réservoir qui re-sédimente = tight gas

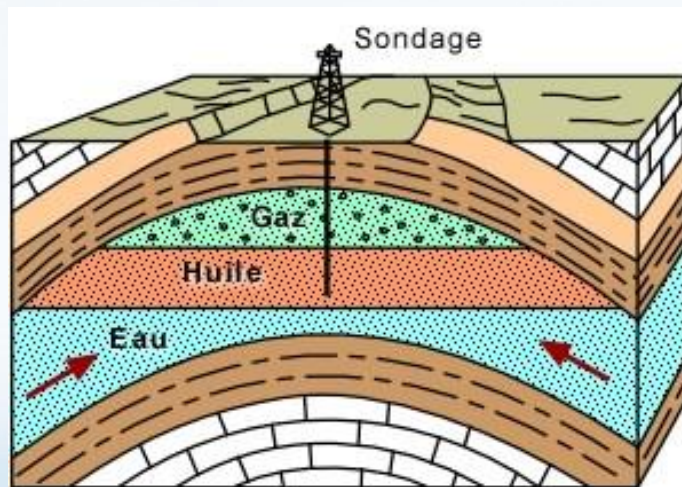
2 - Migration secondaire (cheminement vers la surface)

1 - Migration primaire (expulsion de l'huile et du gaz de la roche mère)

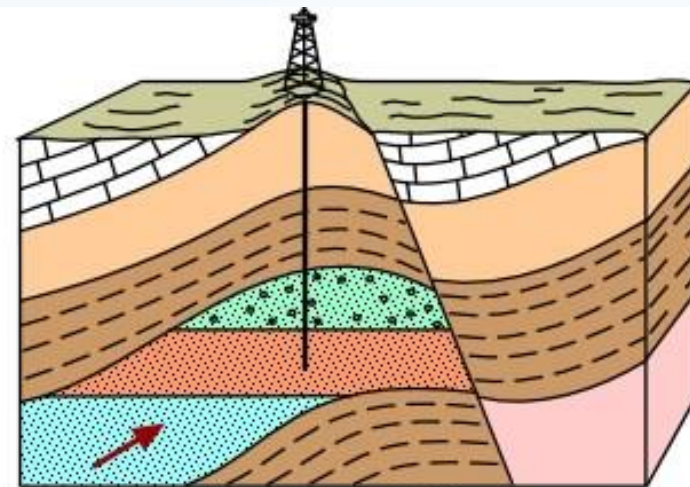
Pas de migration primaire ou secondaire = shale gas ou shale oil



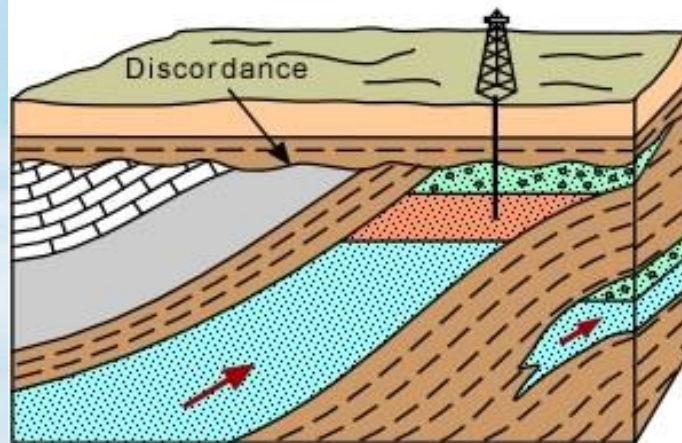
On peut être piégé de plusieurs manières



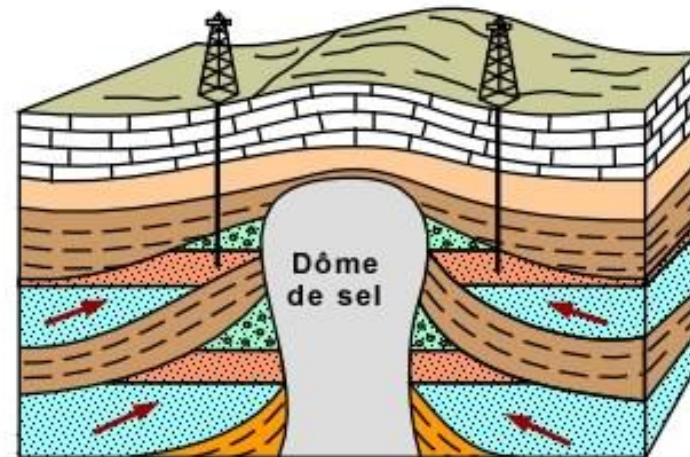
A - Piège structural: anticlinal



B - Piège structural: faille



C - Pièges stratigraphiques:
discordance et biseau sédimentaire

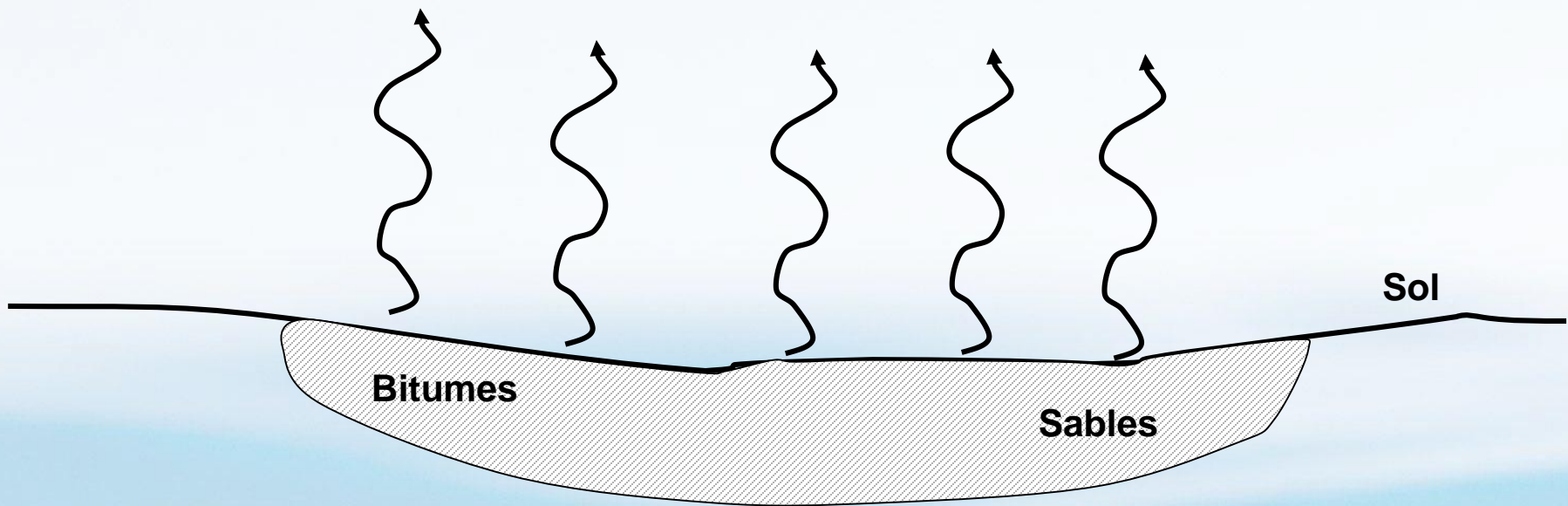


D - Pièges mixtes associés à un diapir

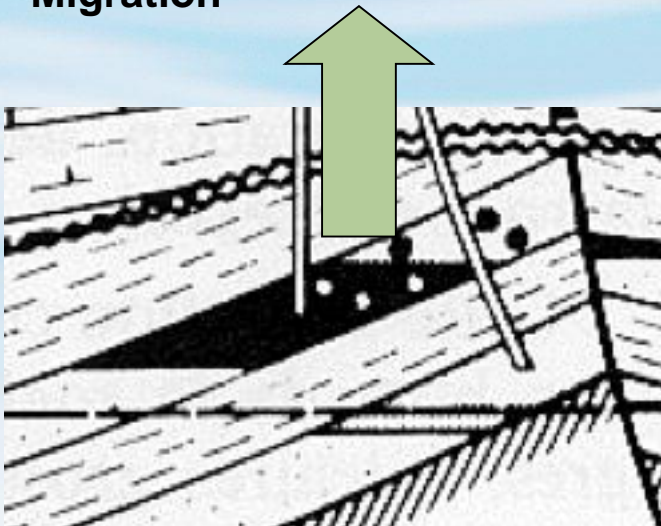
Divers types de pièges.

Source : www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete_terre.html (n'existe hélas plus)

Le lendemain de cui...sson est parfois pâteux

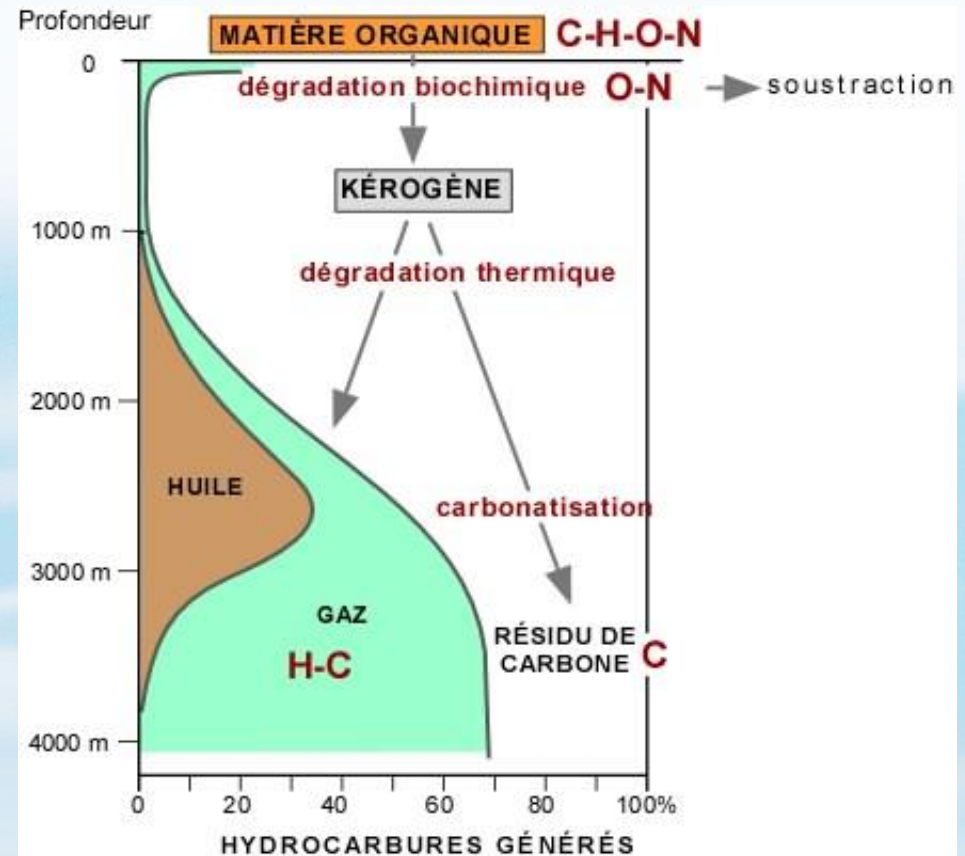
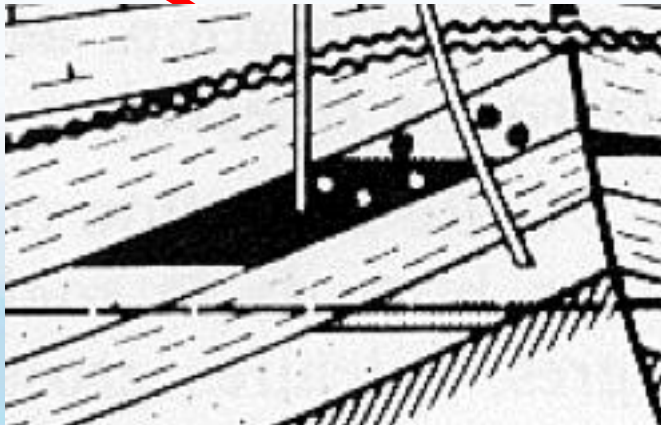


Migration



Au Canada (sables bitumineux) nous avons du pétrole « plus vieux que du pétrole »

Tectonique

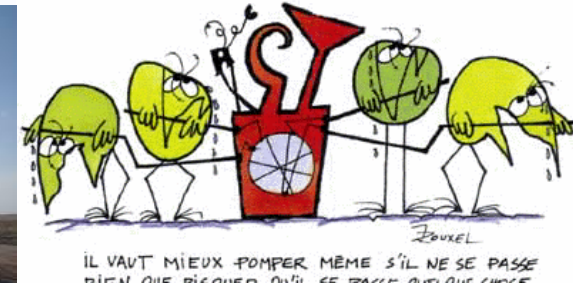


et miracle... (après 15 à 800 millions d'années et dans 0,00000000001% des cas)



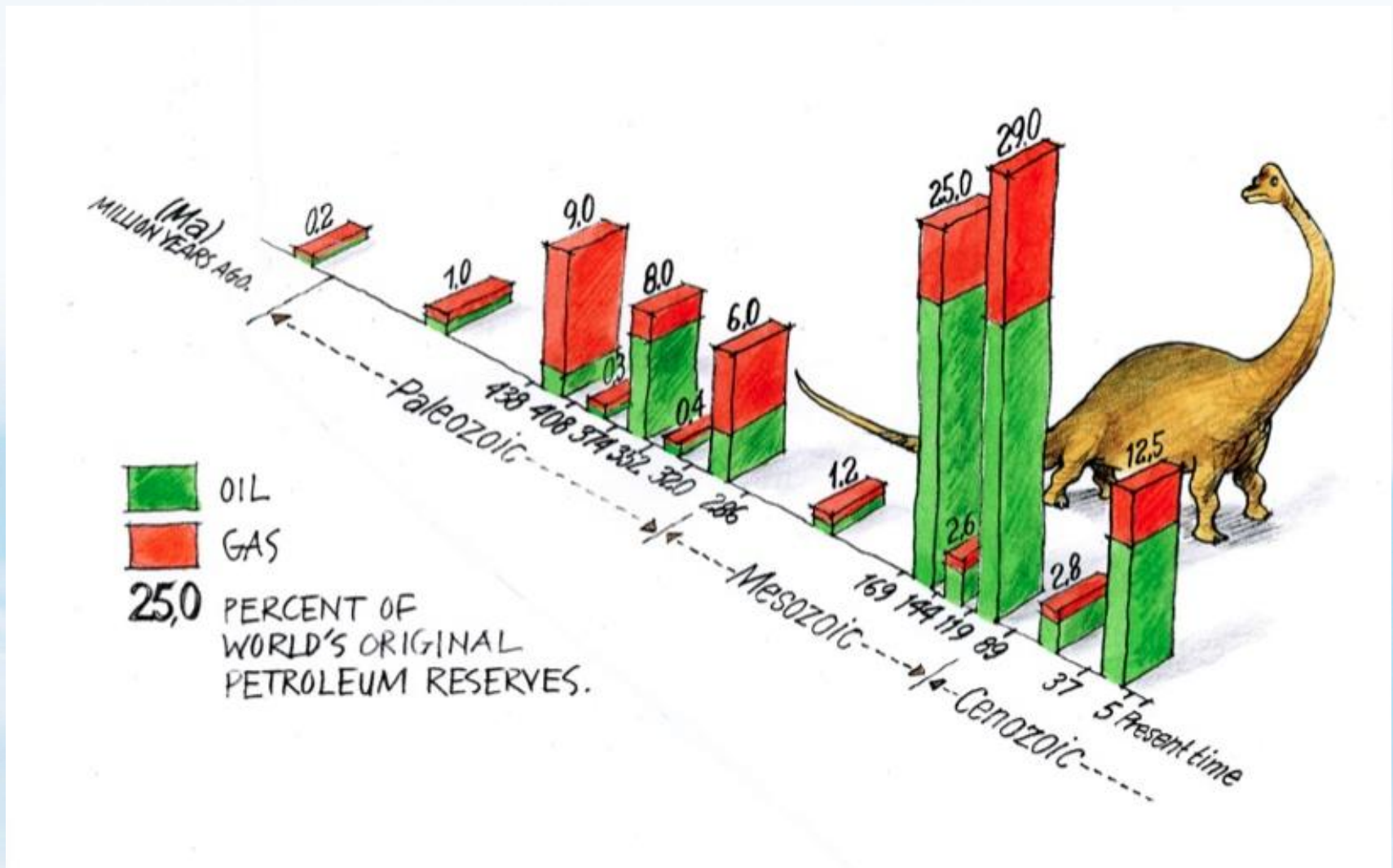
Carbone !

Je laisse tomber au fond de l'océan un corps mort,
se mélanger avec le sédiment minéral,
se faire enfouir par la tectonique des plaques,
se faire cuire par la géothermie,



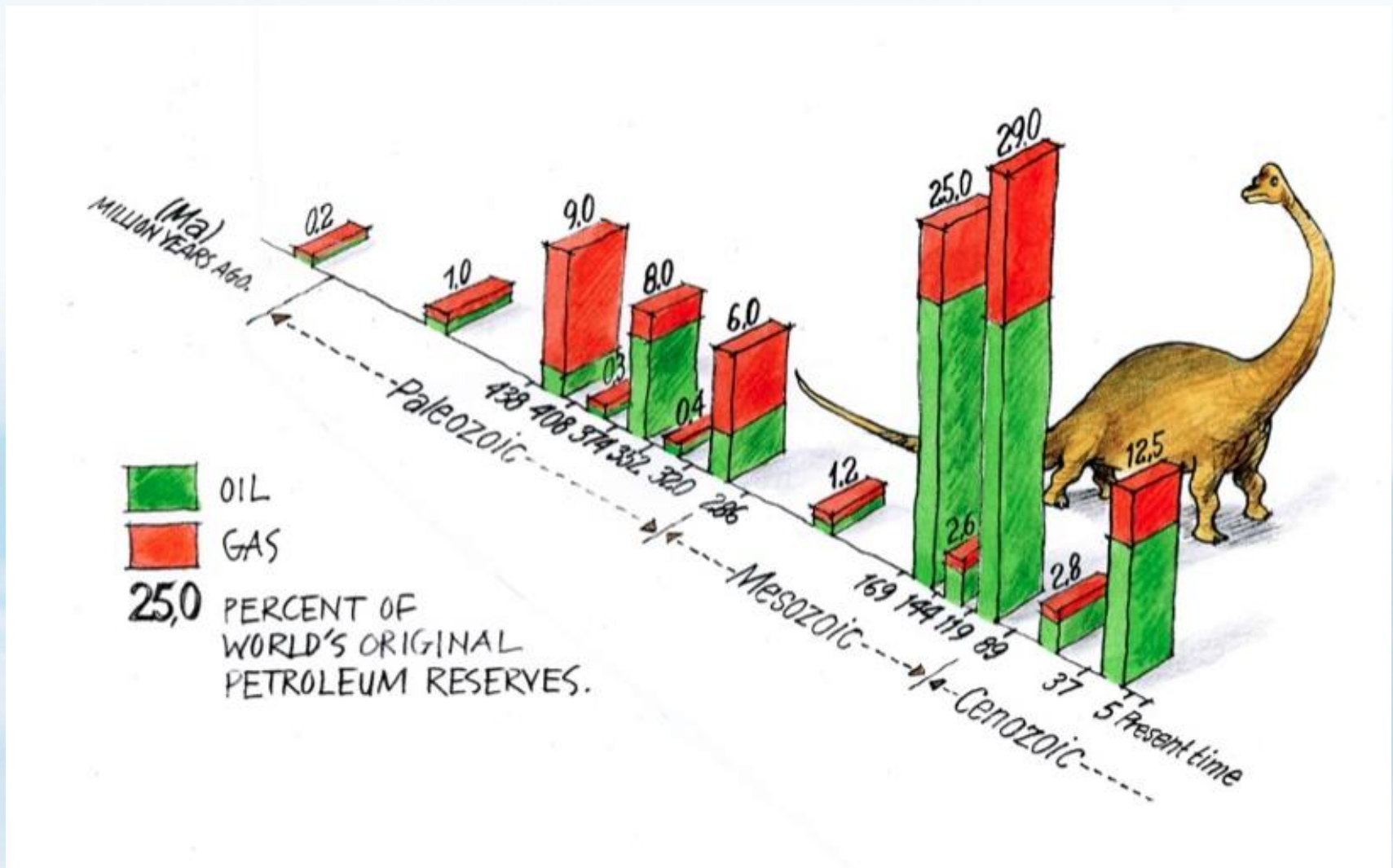
GRATUIT !

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

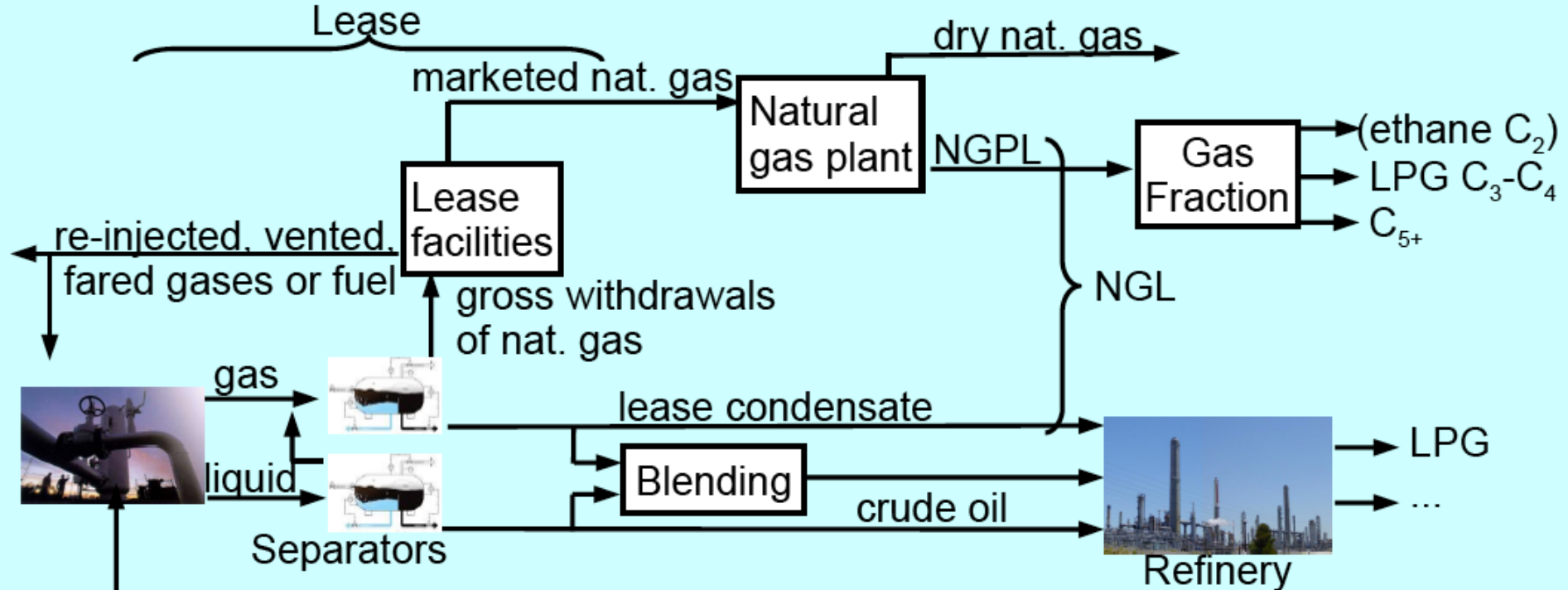
Pétrole et gaz, des énergies de dinosaure !



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

Parlons un peu nomenclature

Termes anglais d'après l'USEIA



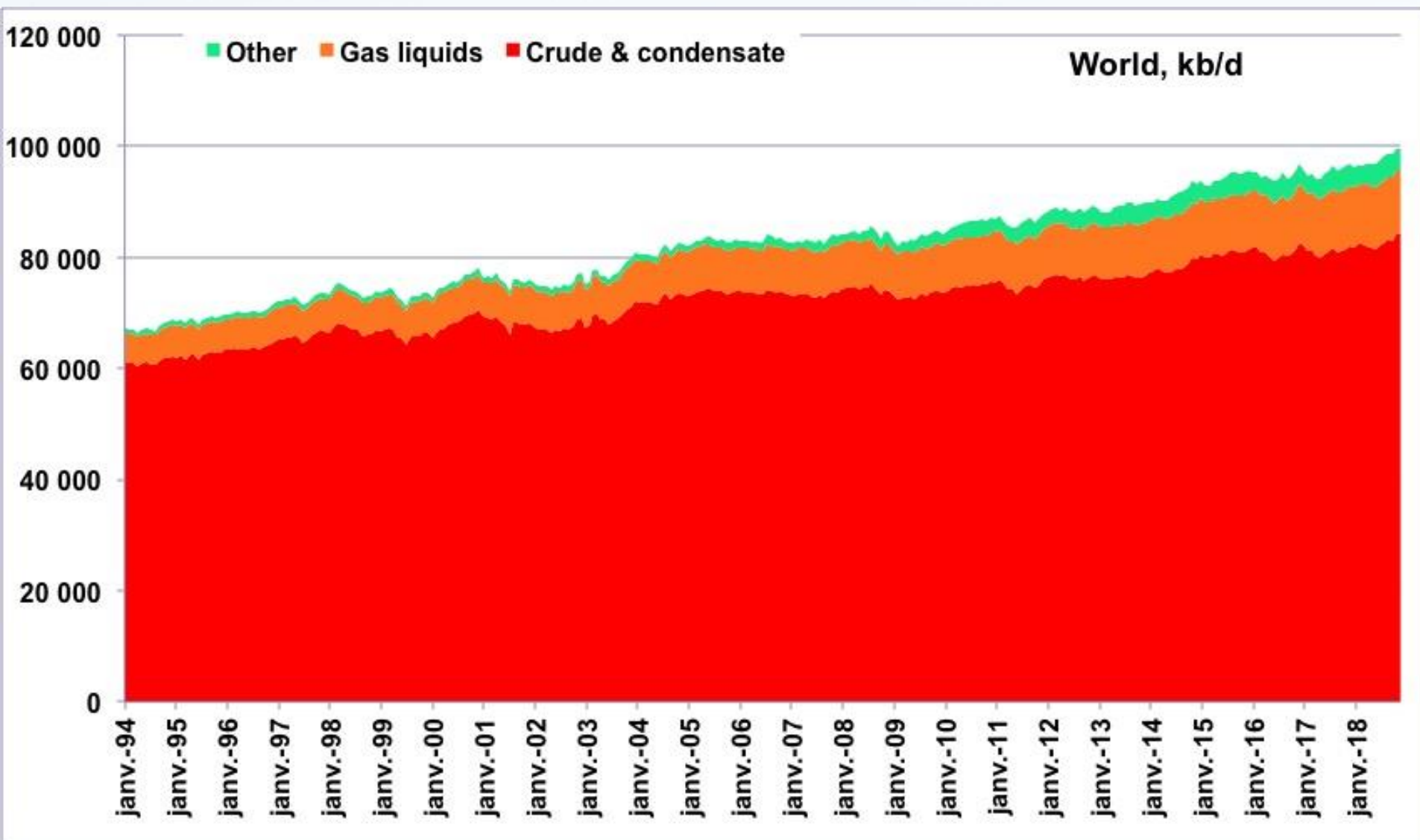
LPG : liquified petroleum gas

NGL : natural gas liquids

NGPL : natural gas plant liquids

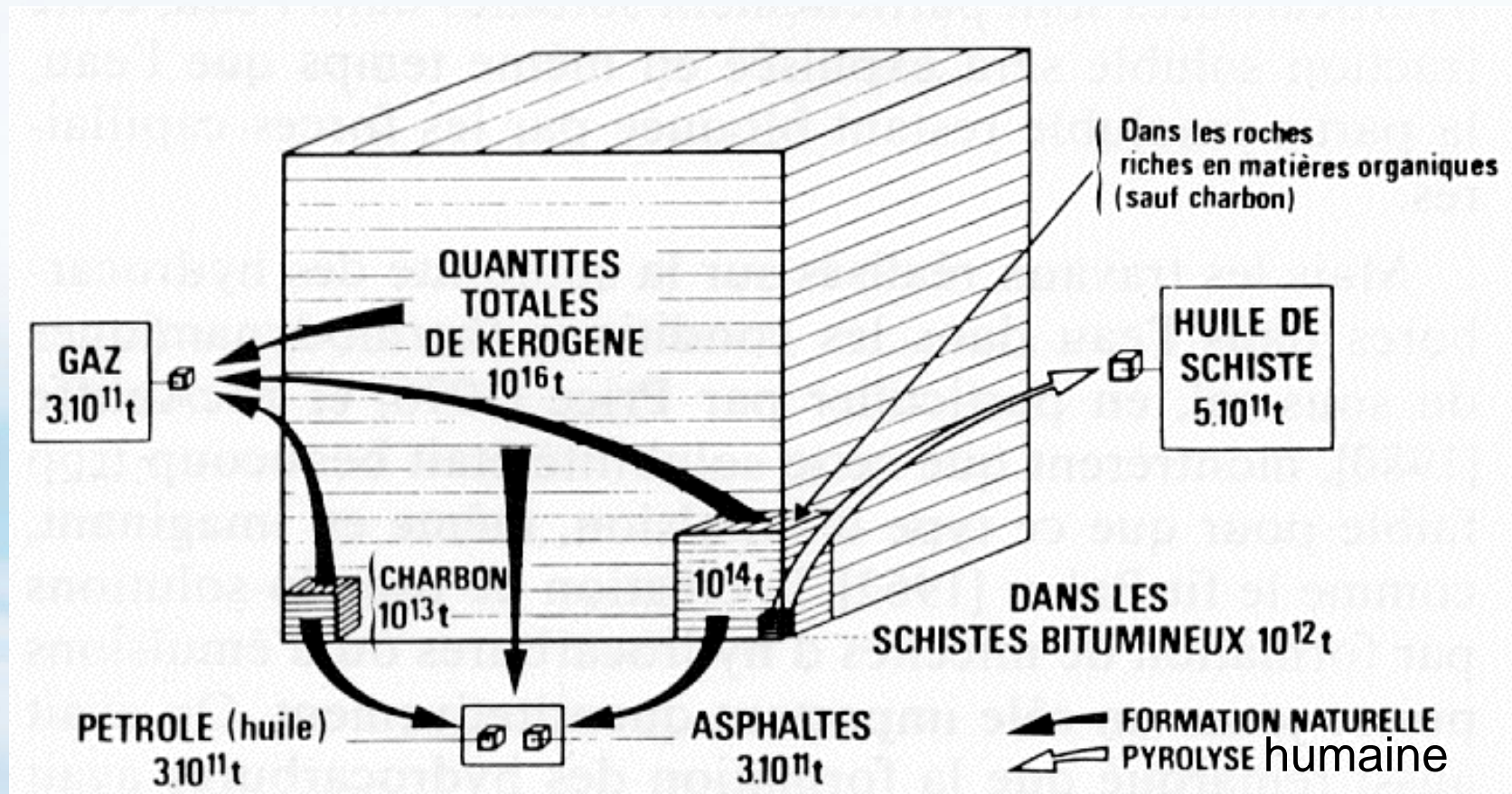
Productions d'hydrocarbures par nature. Source Xavier Chavanne, IPG, 2015

Production de quoi exactement ?



**Production mensuelle de « pétrole », en milliers de barils par jour.
Données Energy Information Agency (US), 2019**

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



Etat des stocks de carbone d'origine organique dans la lithosphère. Le pétrole, c'est 0,00001% de la matière organique qui a vécu au moment de la sédimentation.

Source : les voies et les mécanismes des transformations des matières organiques sédimentaires au cours de l'enfouissement, Bernard Durand, Mem. Soc. Geol. France, N.S., 1987, pp 77-95

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 %

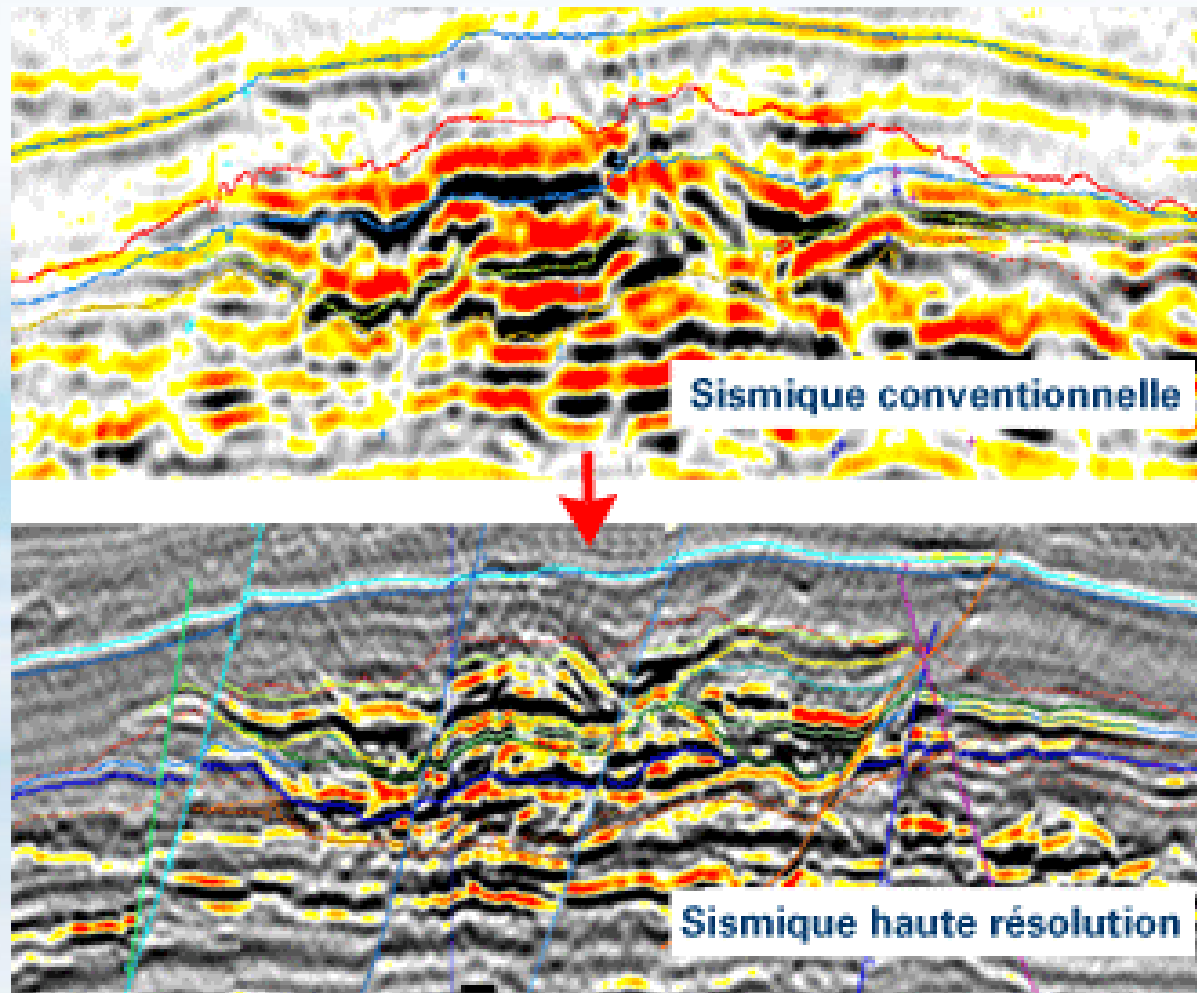
Le pétrole contenu dans la roche s'appelle du pétrole « en place ». Tout ne sortira pas.

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

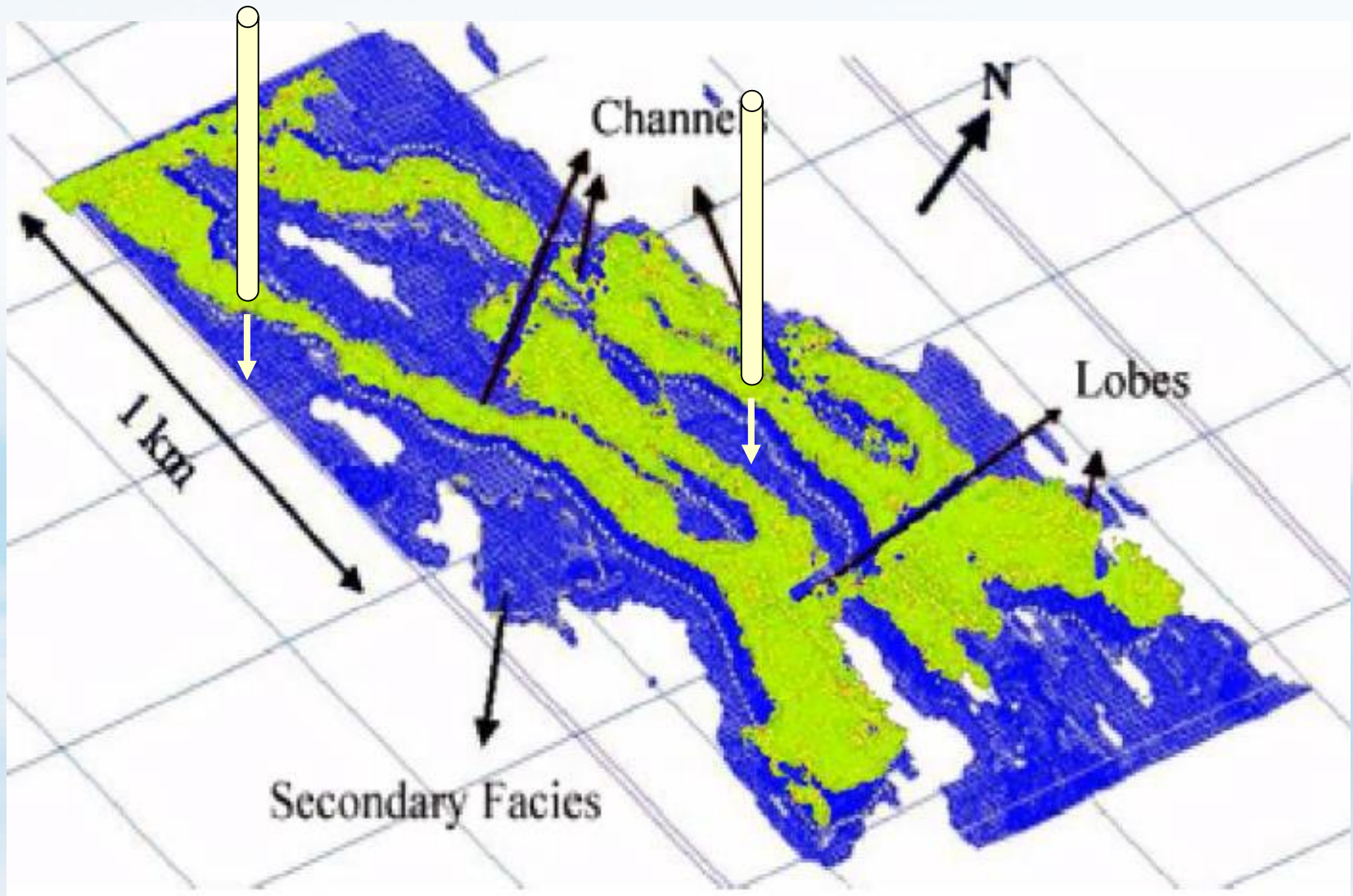
Les « schistes bitumineux » contiennent quelques % en volume de pétrole « plus jeune que le pétrole ». A ne pas confondre avec le « pétrole de schiste », qui désigne du pétrole mature disséminé dans une roche mère, ou logé dans des inclusions

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



Exemple d'image obtenue avec de la sismique

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



Un exemple de réservoir, reconstitué sur ordinateur à partir d'analyses sismiques

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

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

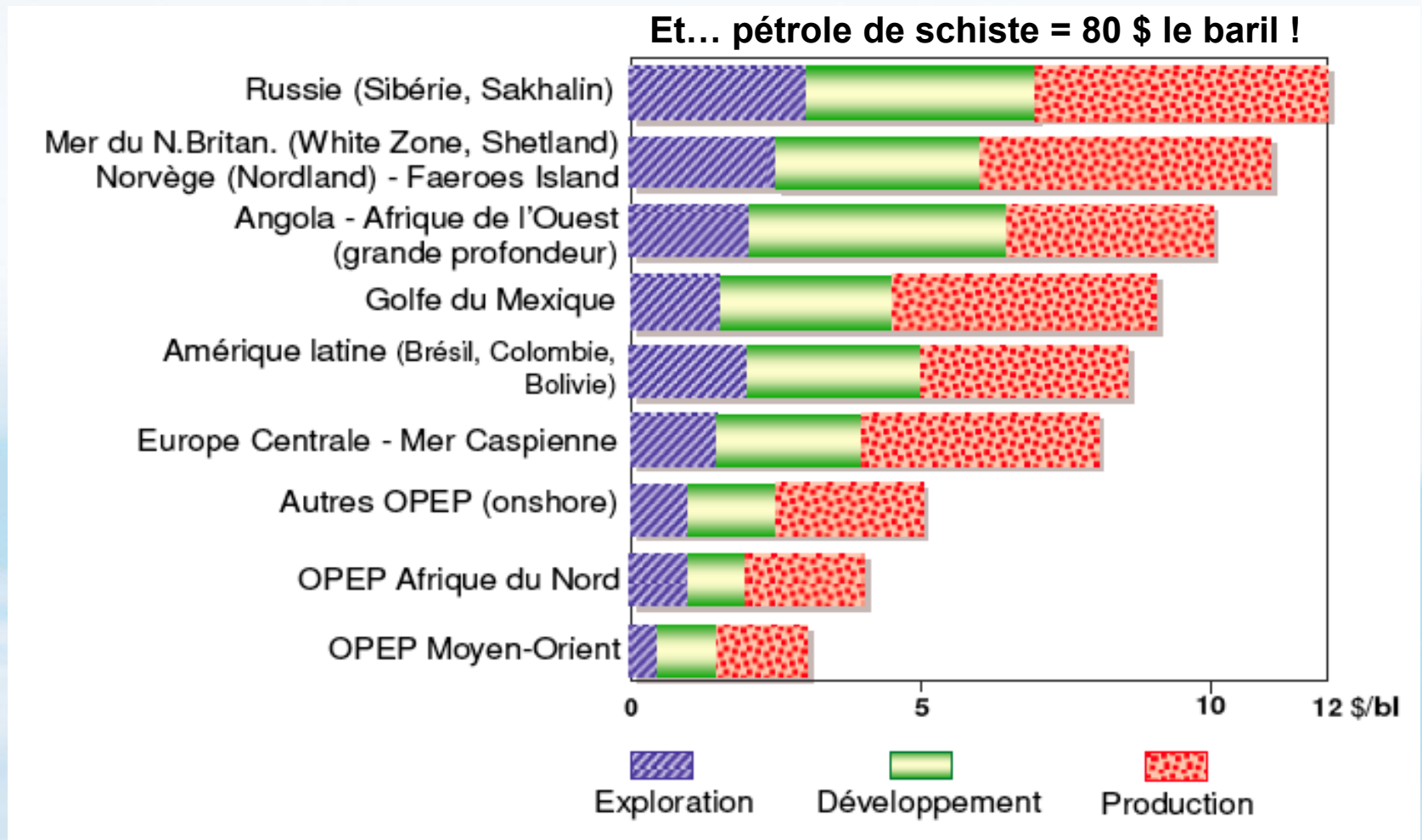
Les **réserves ultimes** correspondent à l'ensemble de ce qui peut sortir d'un gisement donné, du début à la fin de son exploitation (idem monde)

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.

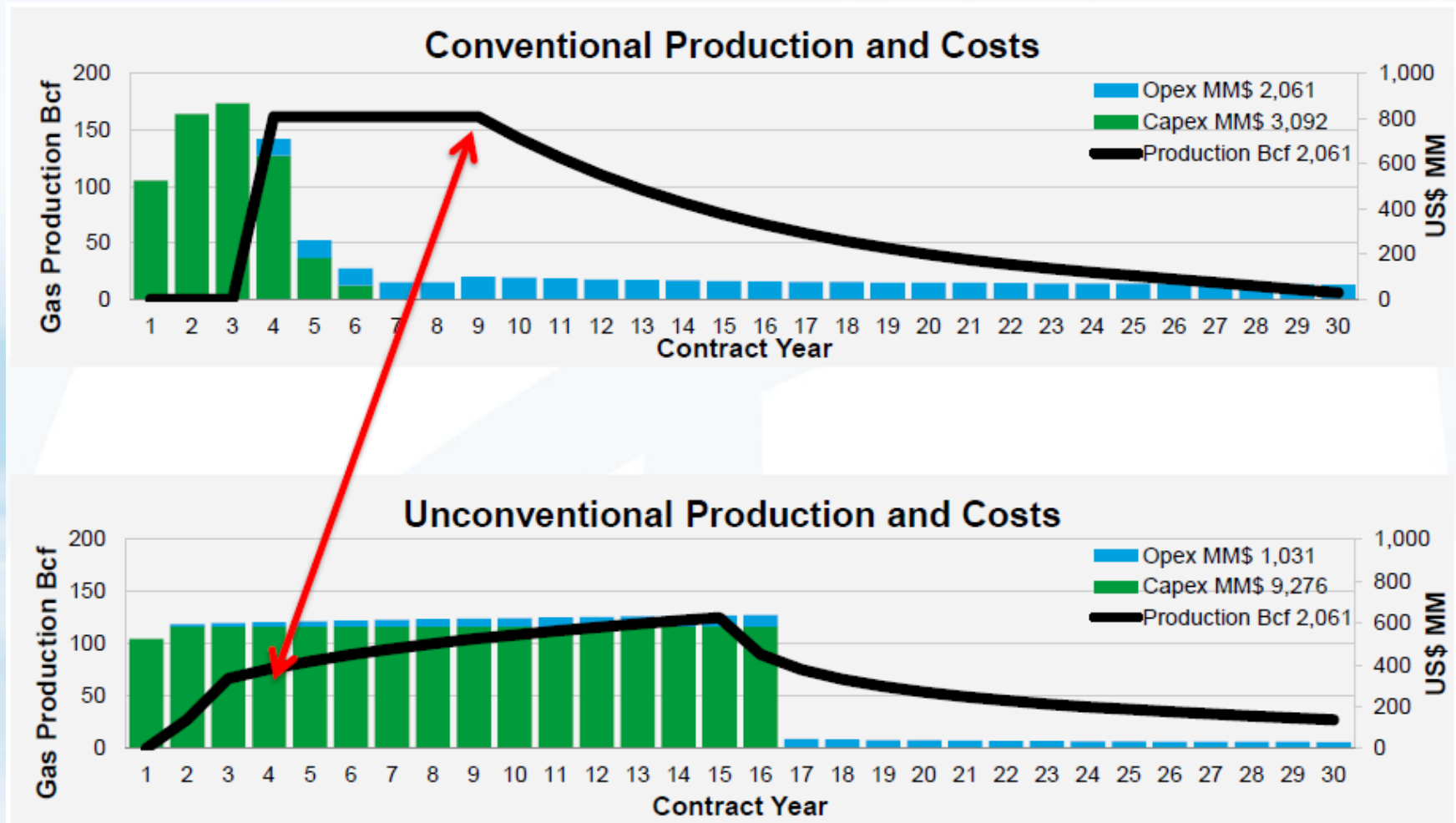
Une réserve, c'est (un peu) pour un prix



**Coût d'extraction d'un baril de pétrole conventionnel pour quelques grandes zones.
10\$/baril \approx 0,4 centime (d'euro) par kWh. Imbattable !**

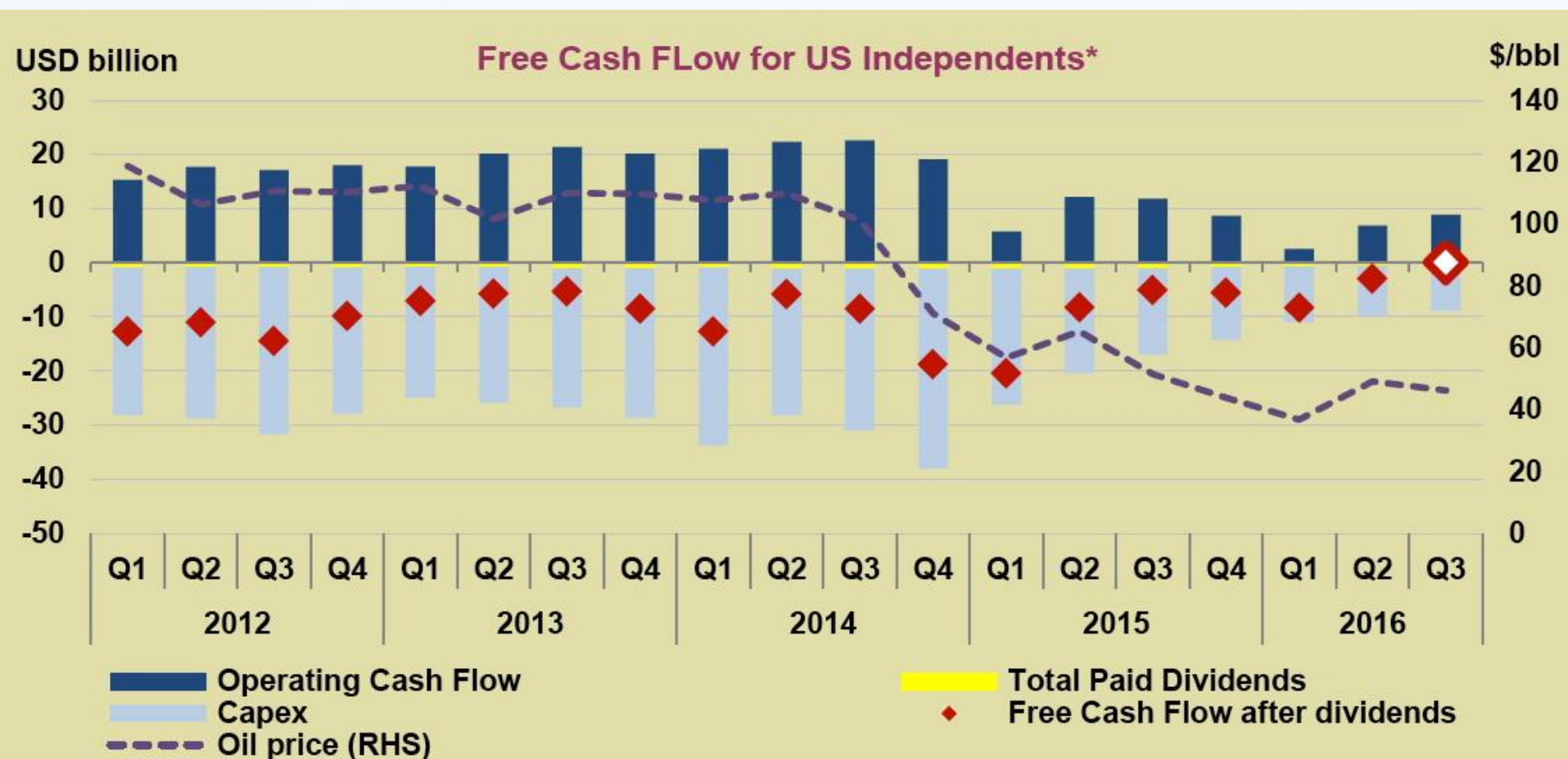
Source : ADL, Long term Outlook, 1999, In Bauquis & Babusiaux, Adadémie des Technologies, 2007

Hydrocarbures de schiste : back to the future



Source: Gaffney, Cline & Associates.

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



≈ 250 milliards de dollars de pertes de trésorerie en cumulé !

Source: International Energy Agency, oil market report, 2016

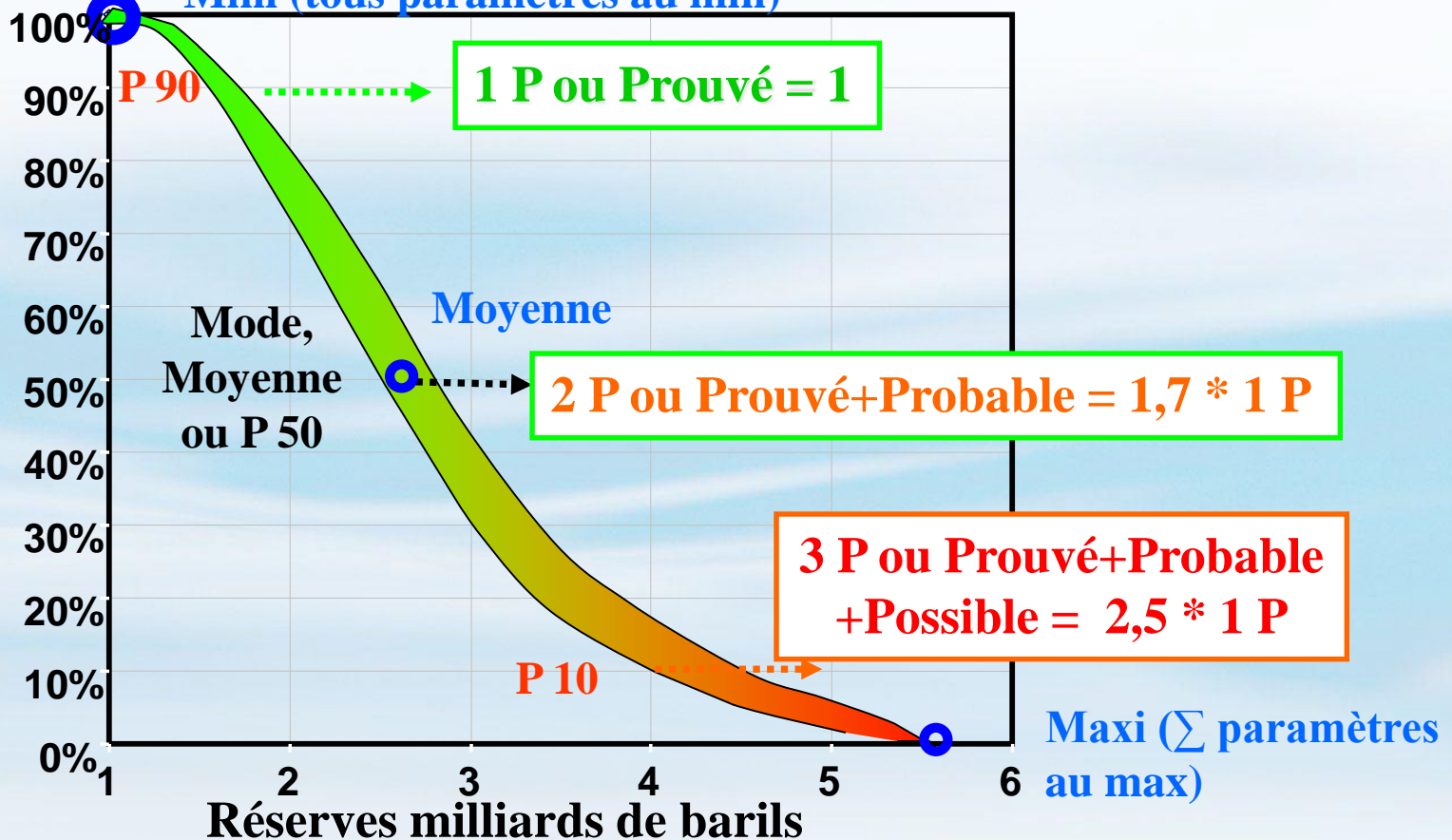
Faire le tour du hangar et regarder par le trou de la serrure

Soit un réservoir, avec une incertitude sur son volume, sur sa porosité, sur sa pression, sur sa viscosité, etc

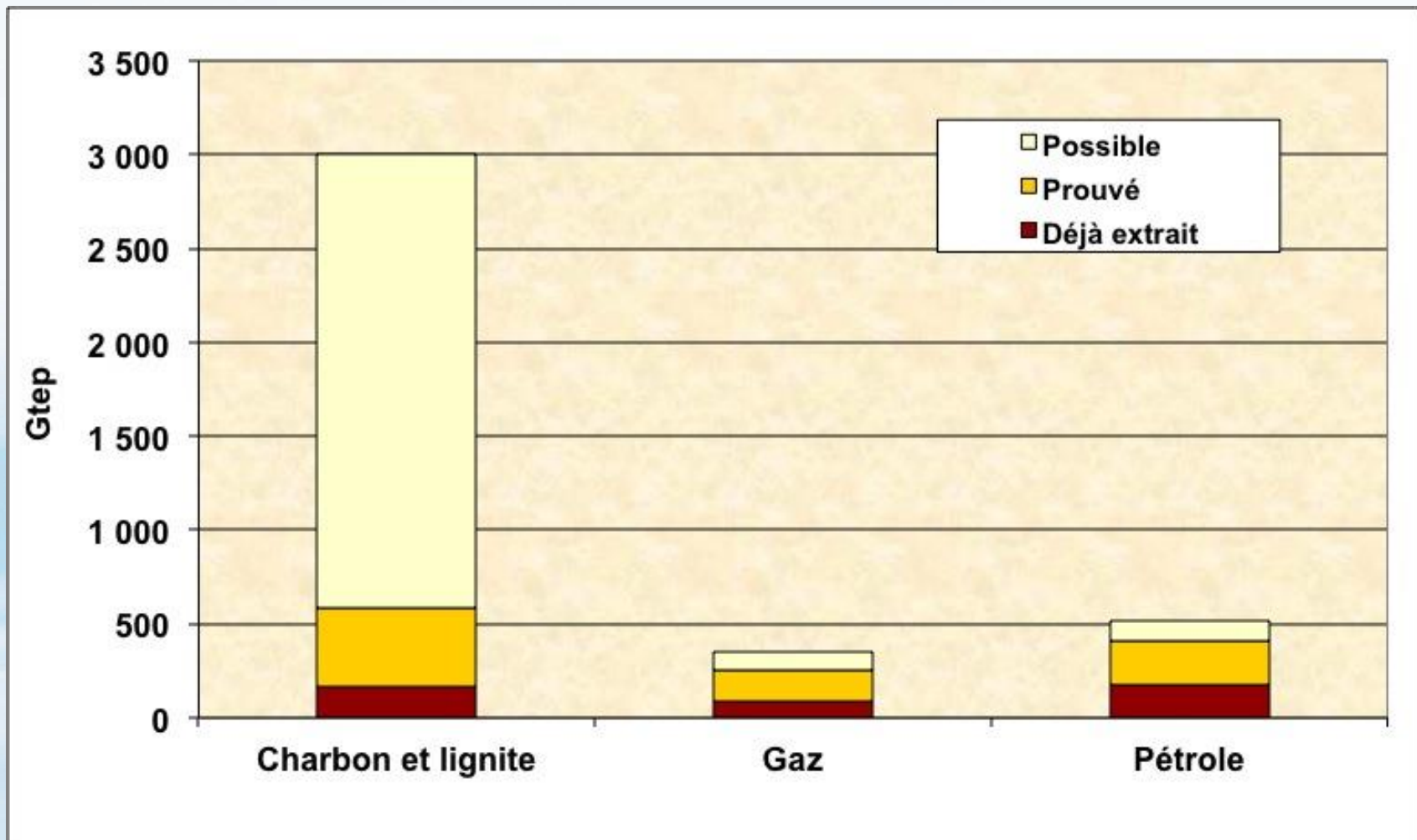
Probabilités

APPROCHE PROBABILISTE

Mini (tous paramètres au min)



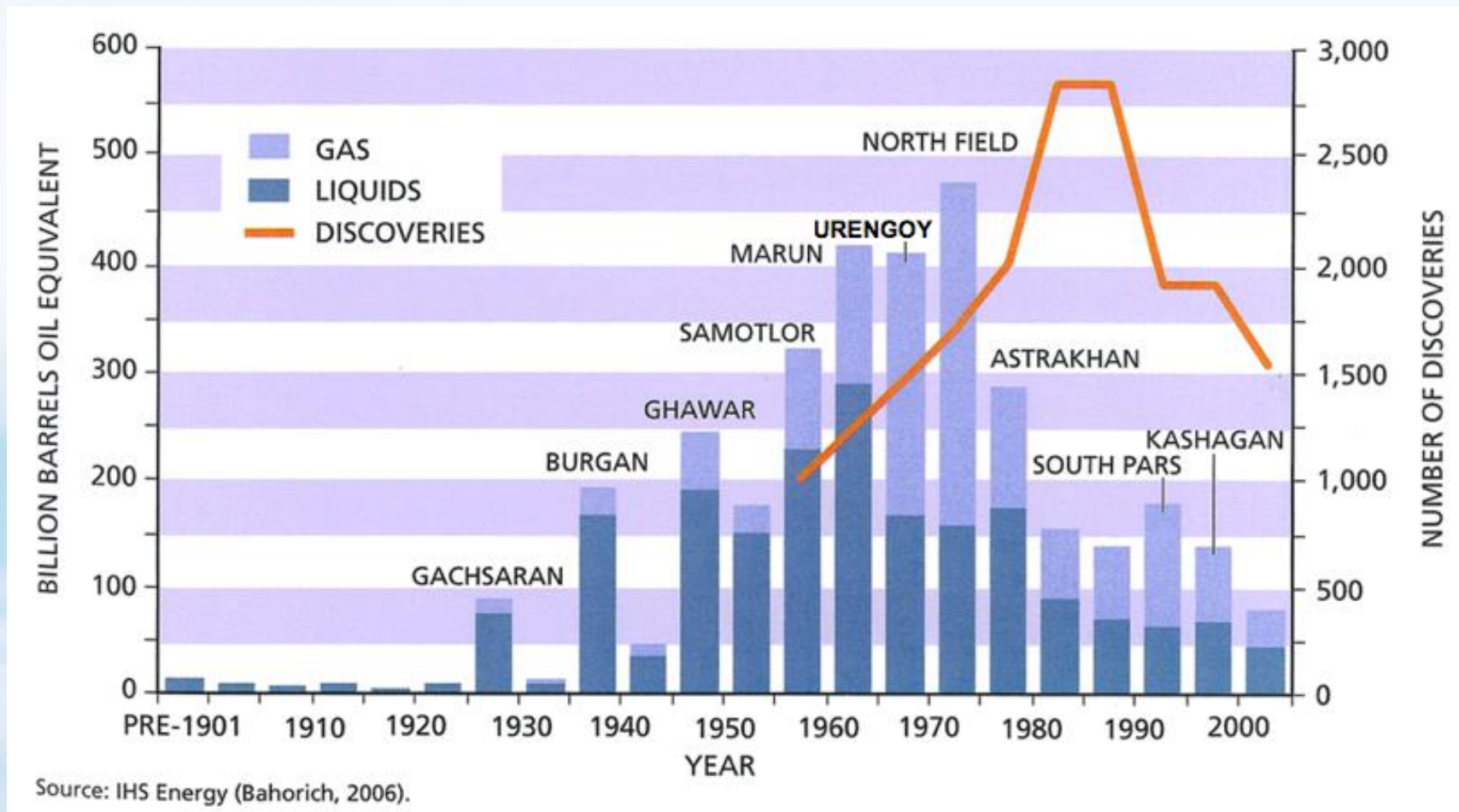
Yves Mathieu IFP, Juin 2004



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

Compilation de l'auteur sur sources diverses

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



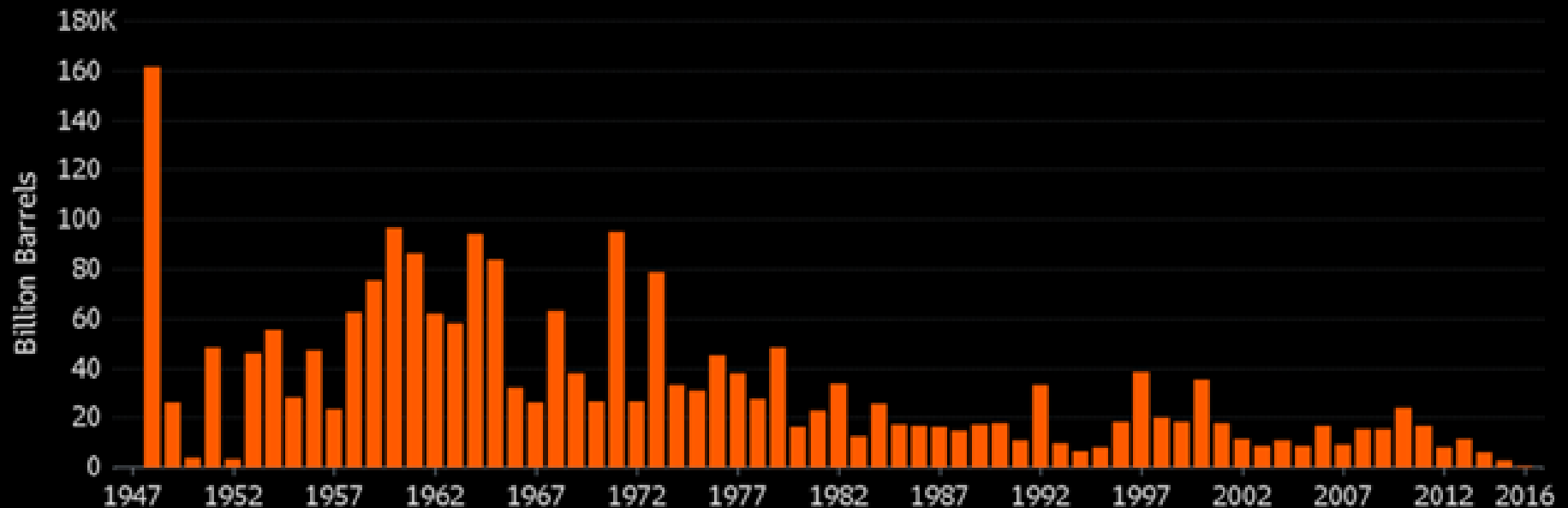
Découvertes mondiales de pétrole conventionnel et de gaz conventionnel récupérables depuis 1900 hors US et Canada, en milliards de barils équivalent pétrole par décennie (1 tonne = 7,3 barils). En orange : nombre de champs découverts.

Source : IHS, 2006

Oil Discoveries Lowest Since 1947

Explorers slash spending after price collapse

Conventional Oil Discovered



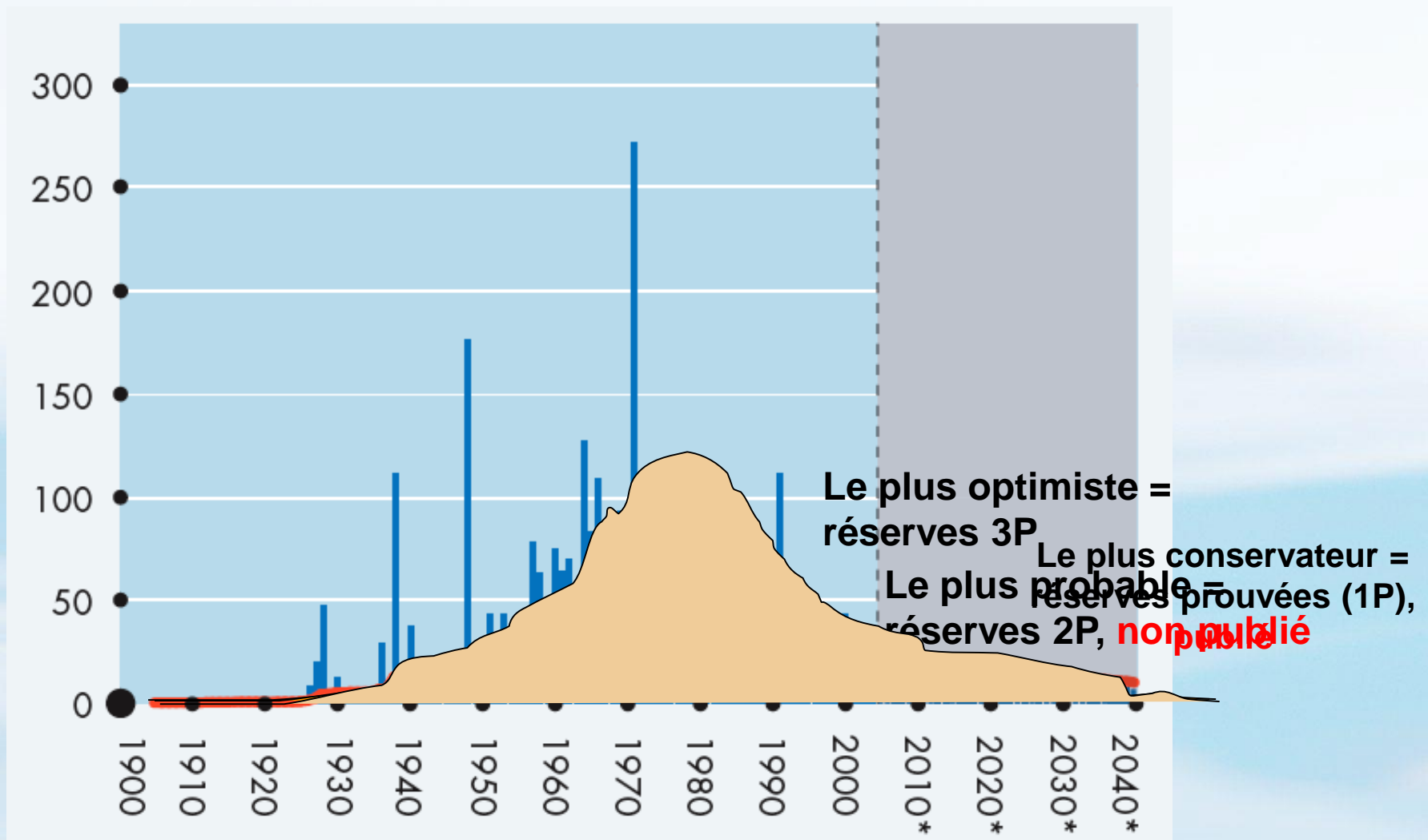
Source: Wood Mackenzie

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

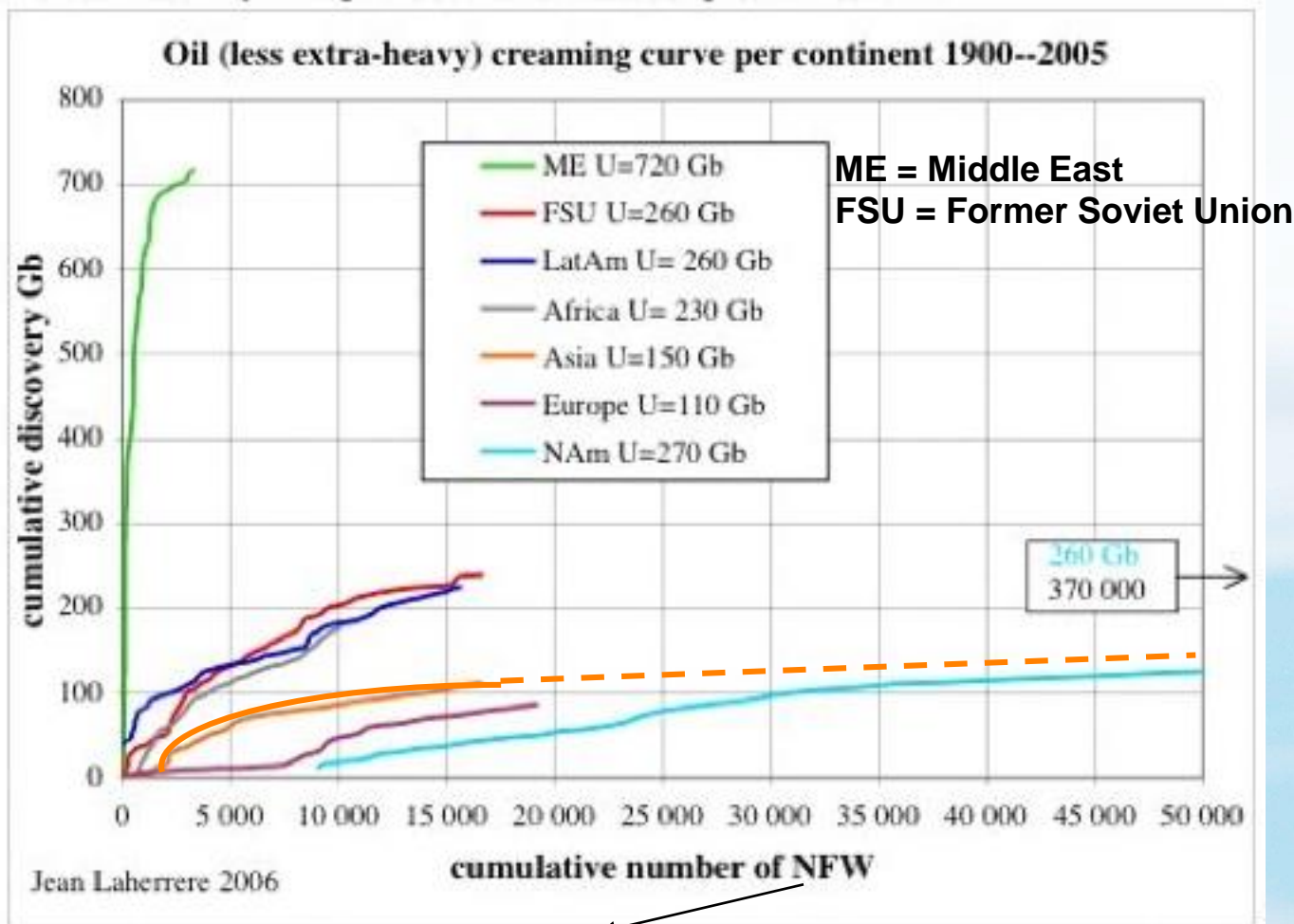
Et il en sortira quoi de tout ça ?



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

Moins de découvertes parce nous cherchons moins ?

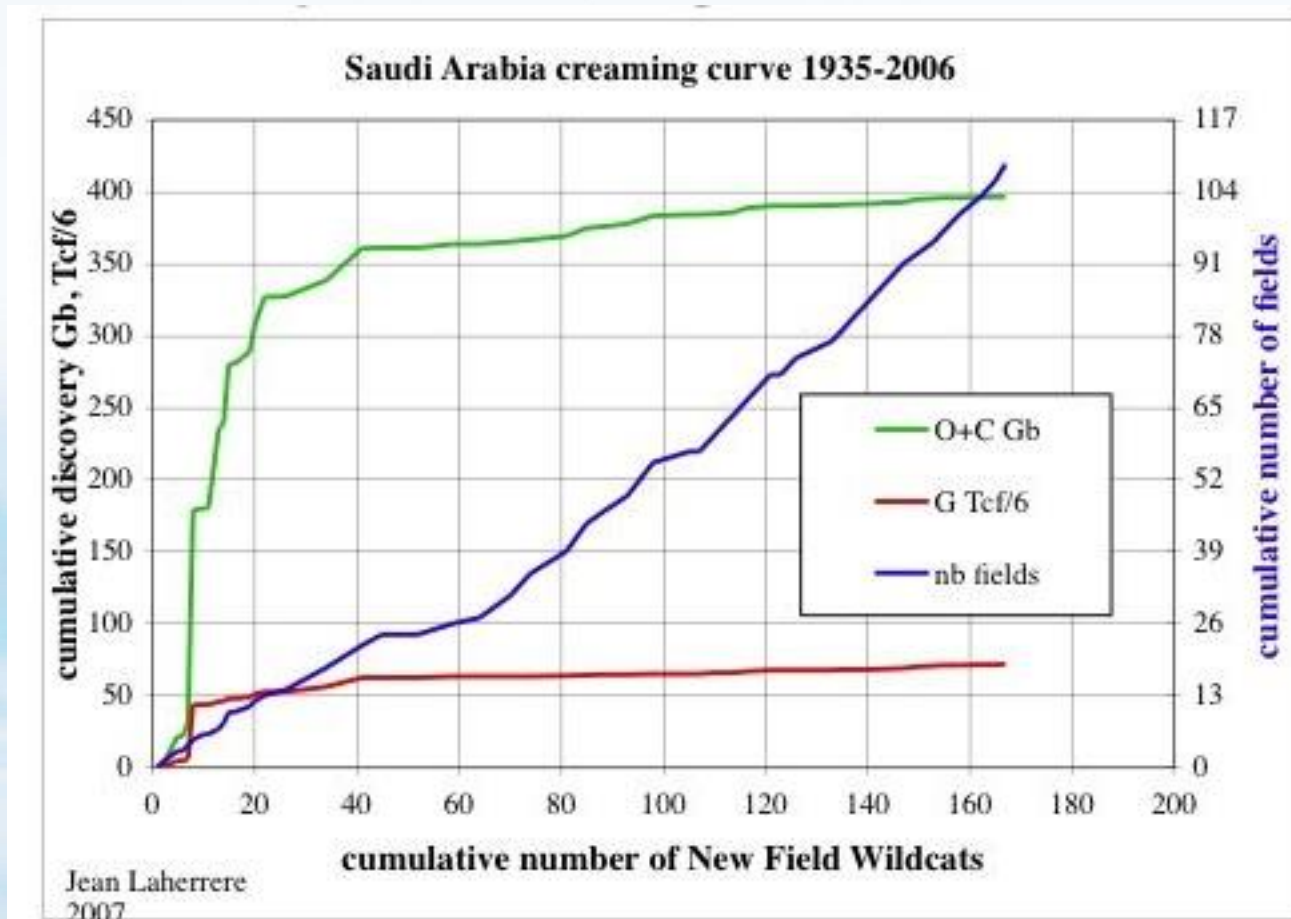


NFW = New Field Wildcats = puits d'exploration

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

Source Jean Laherrère, 2006

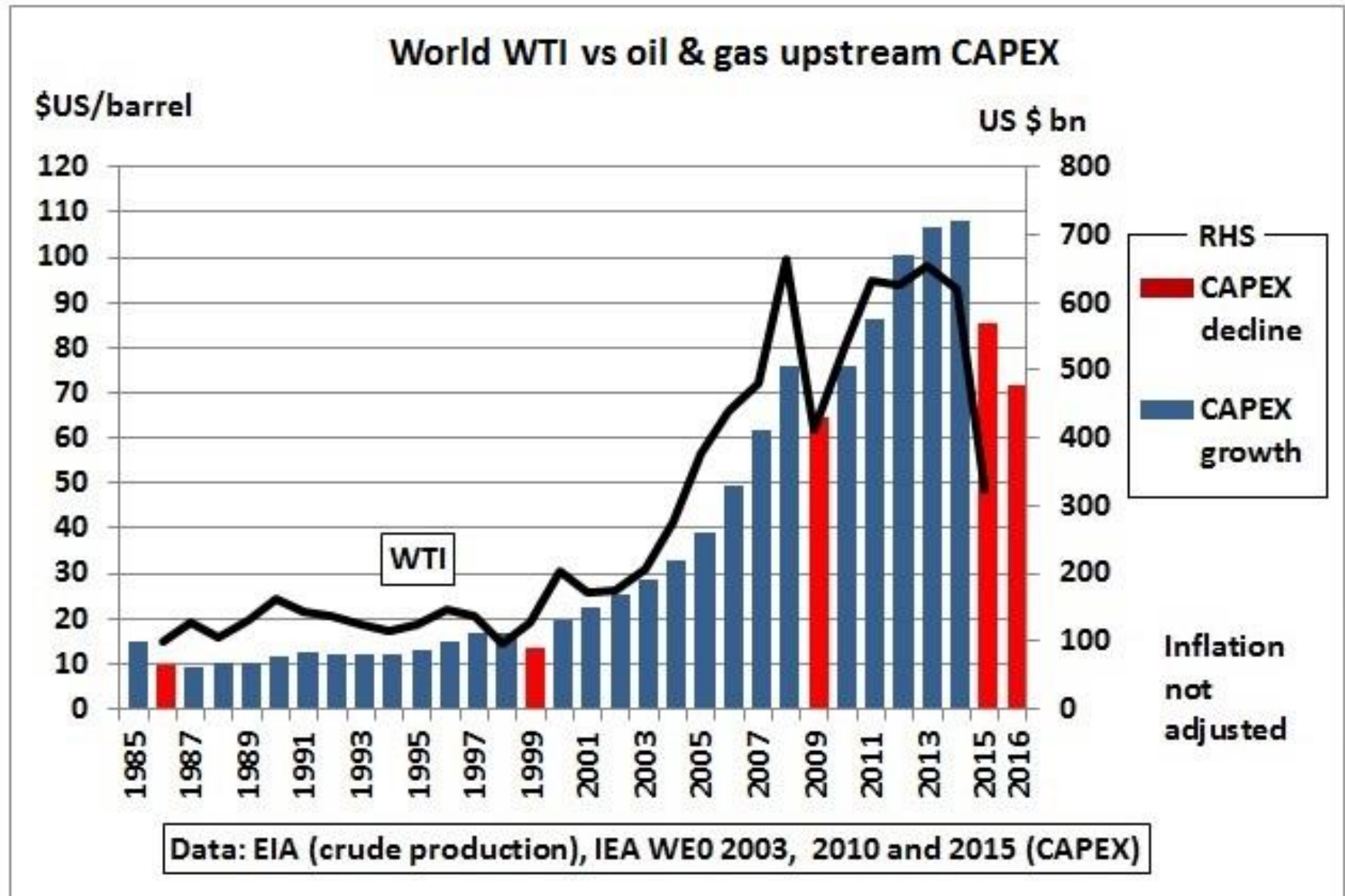
Moins de découvertes parce nous cherchons moins (bis) ?



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.

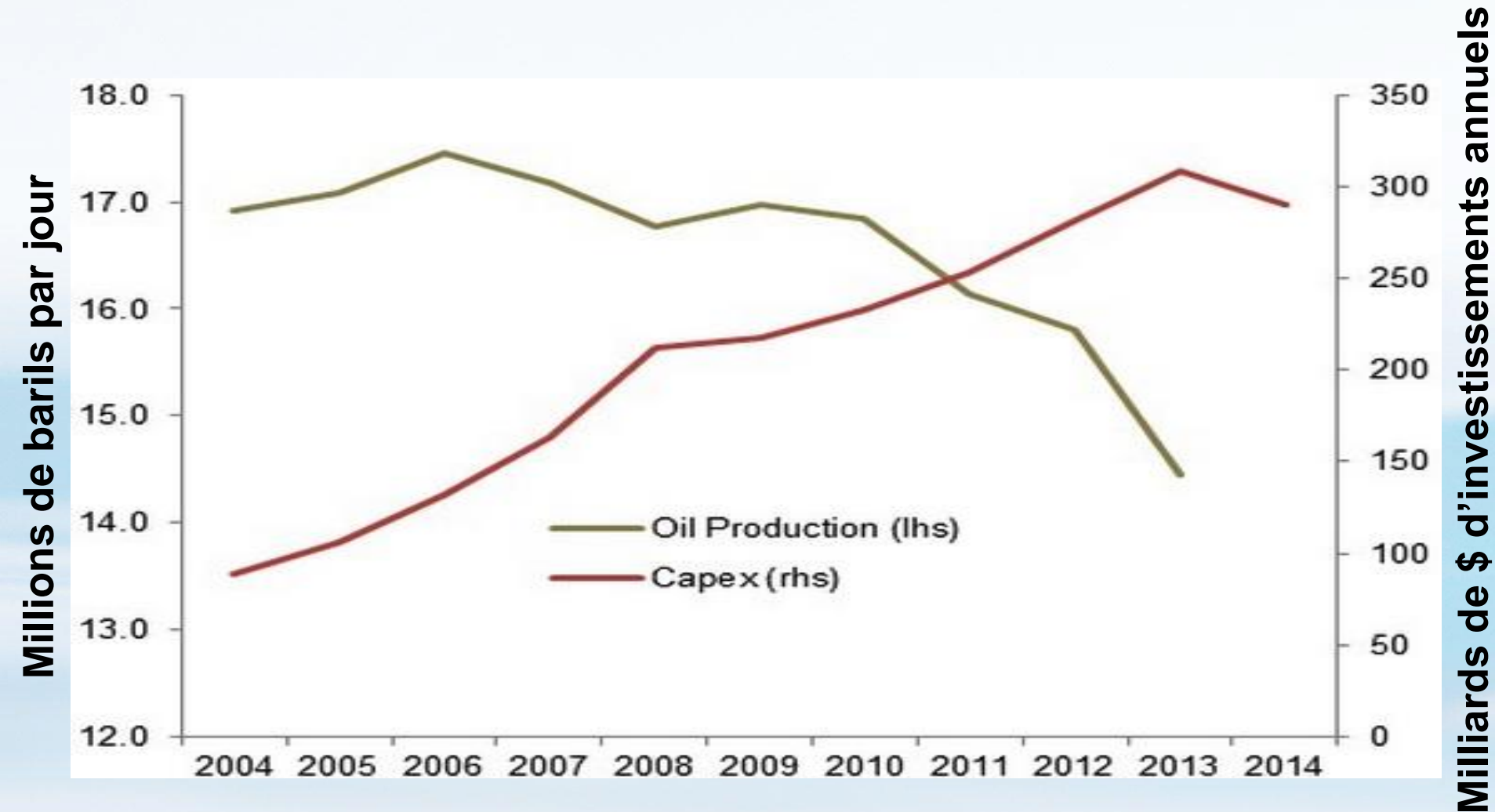
Source Jean Laherrère, 2007

Moins de découvertes parce que nous cherchons moins ?



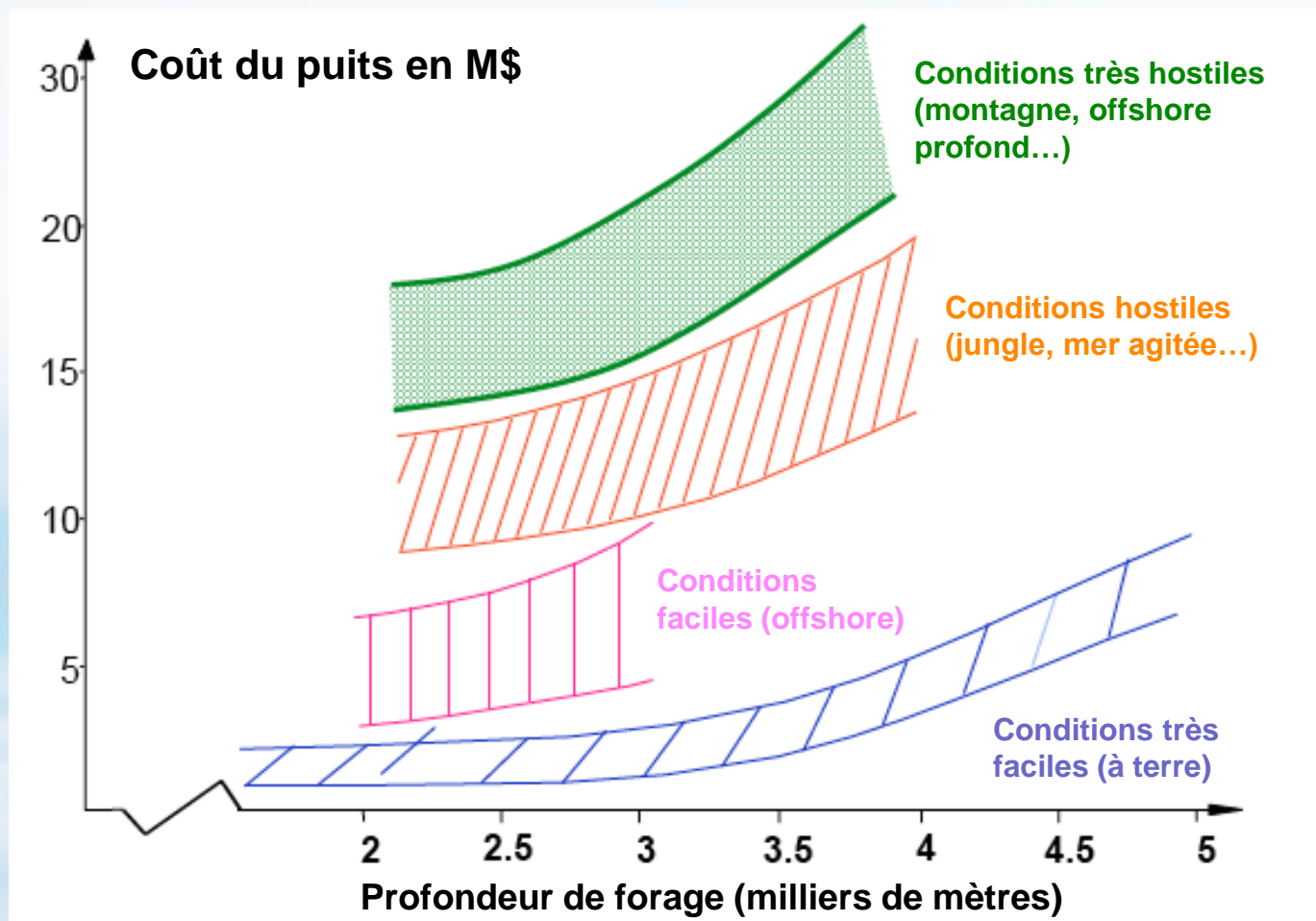
Investissements en milliards de dollars de l'industrie pétrolière mondiale.

Mais ça ne suffit pas à produire plus...



Production pétrolière des majors de 2004 à 2014, et budgets d'investissement des mêmes

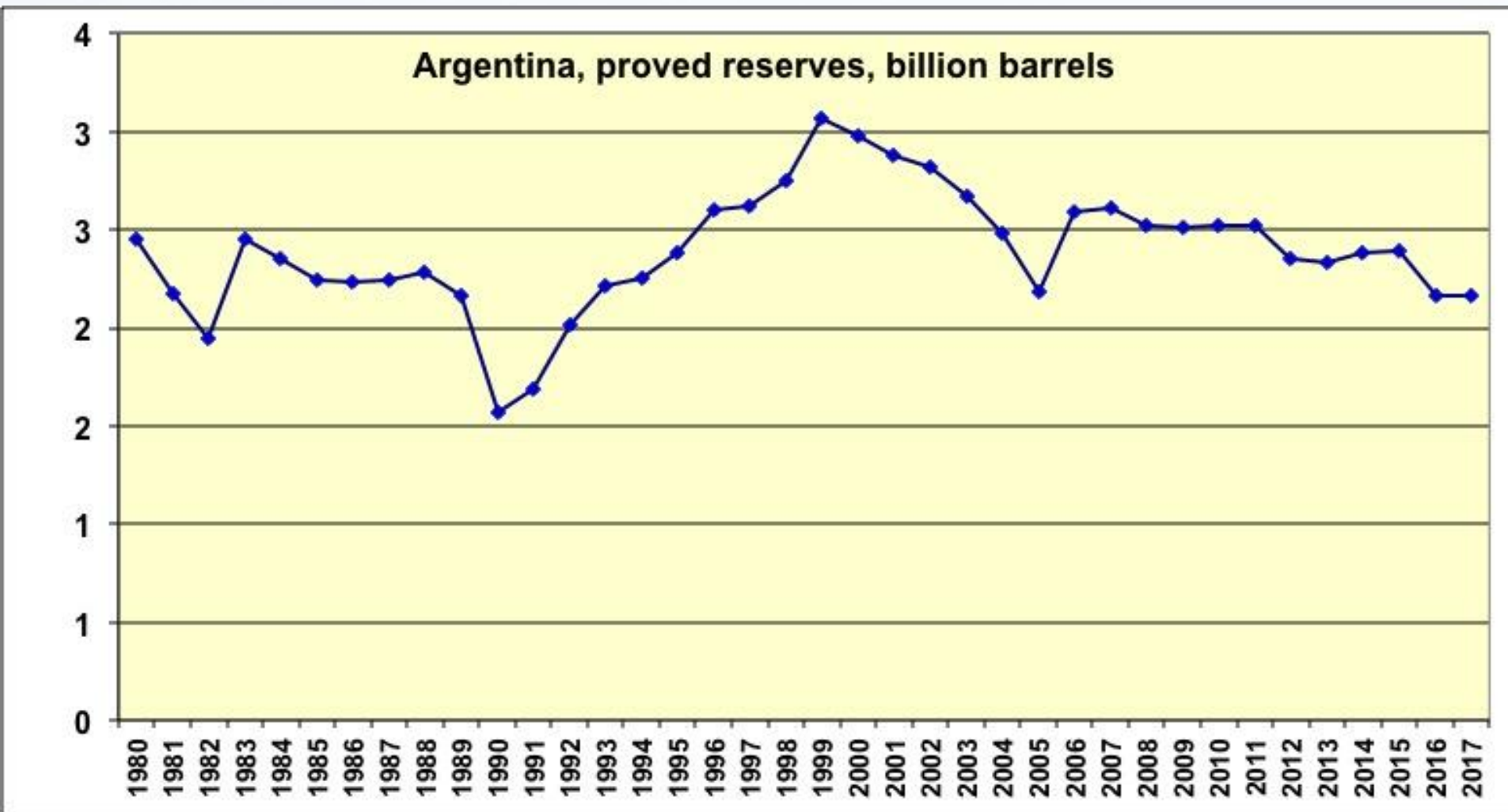
Source Bloomberg via Astenbeck Capital Management



Prix d'un forage d'exploration dans le monde selon les conditions.

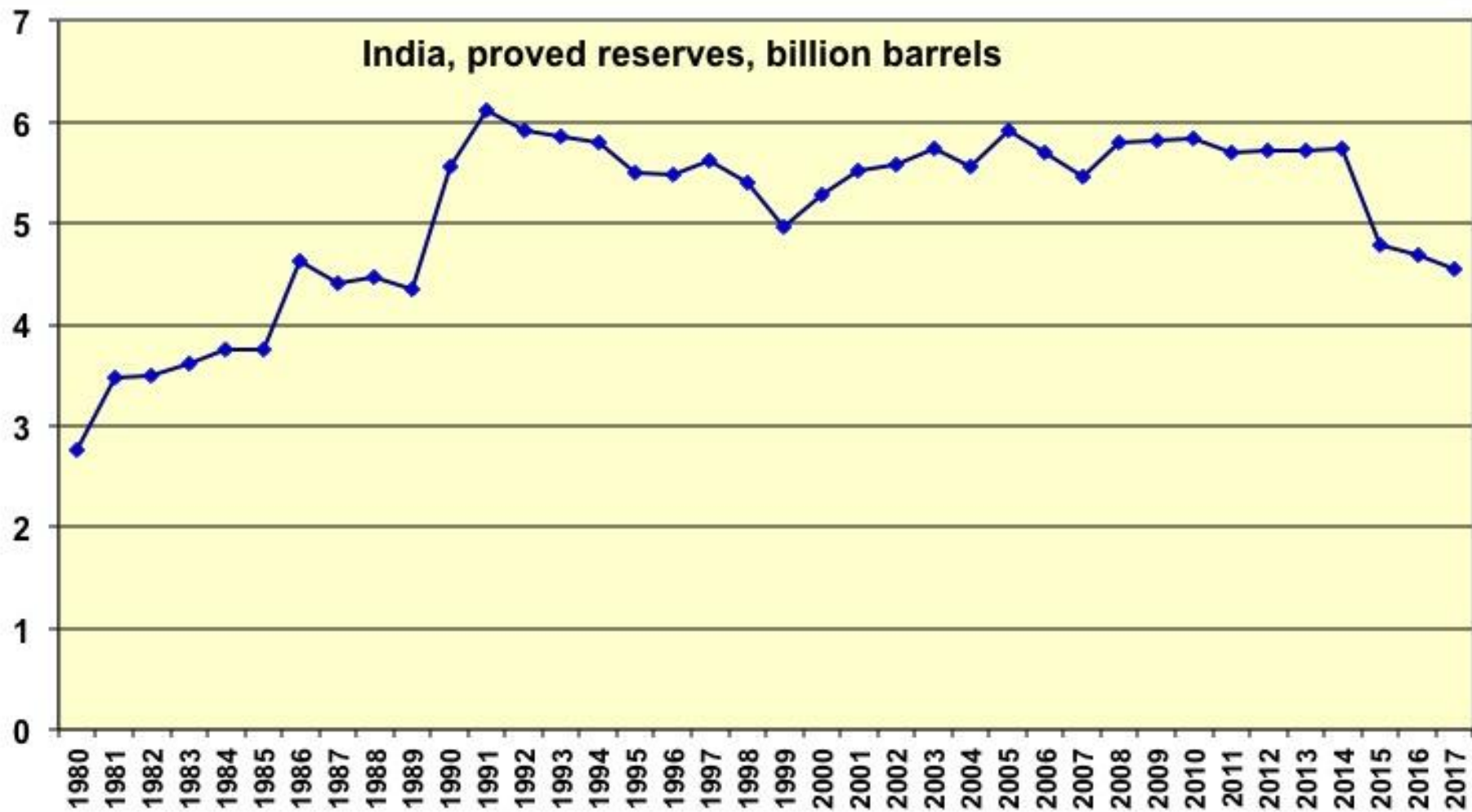
Source Pierre-René Bauquis, 2008

Les réserves, normalement sensibles à l'activité des shadoks



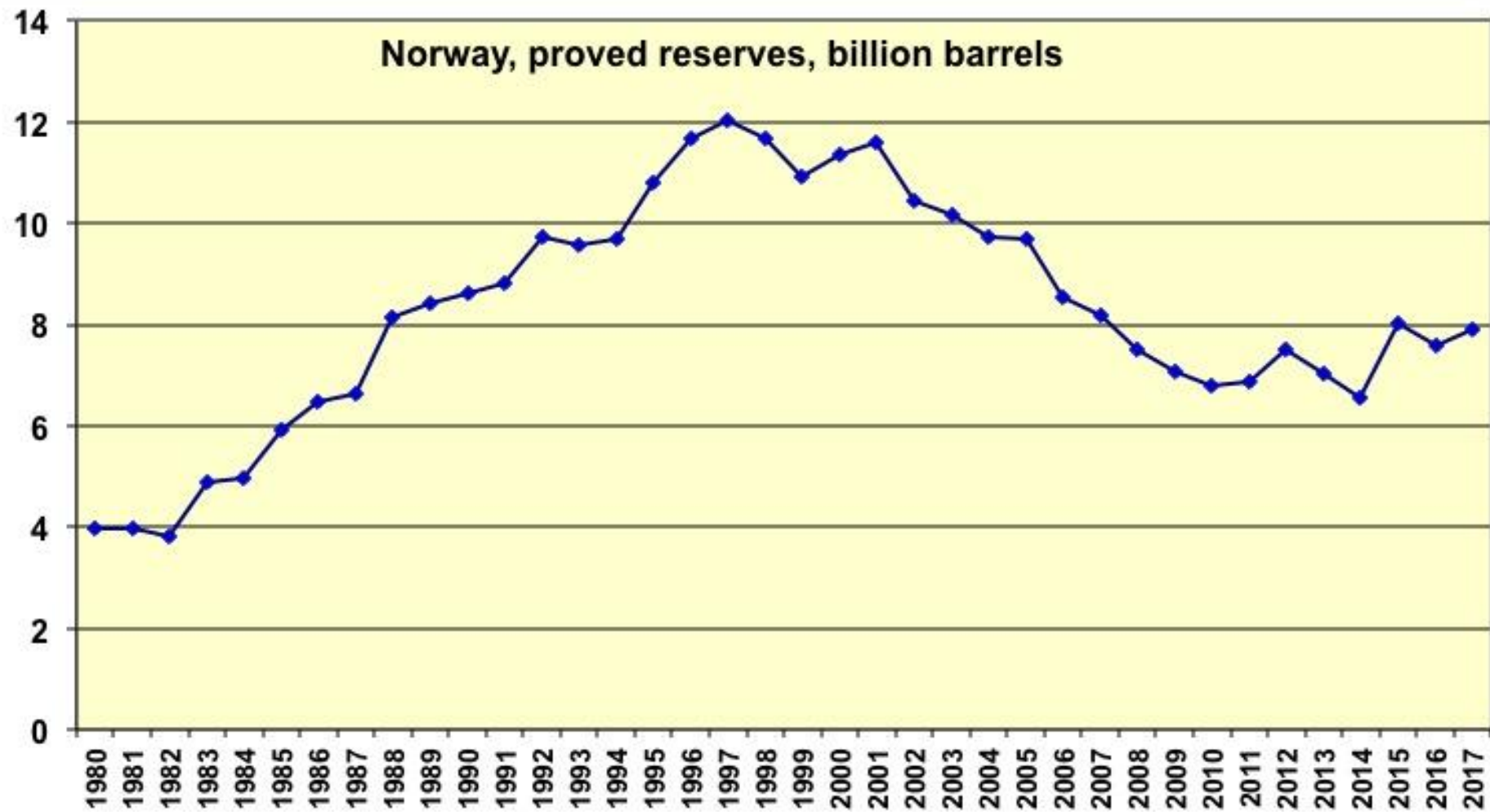
Evolution des réserves prouvées en Argentine. Source BP Statistical Review, 2018

Les réserves, normalement sensibles à l'activité des shadoks



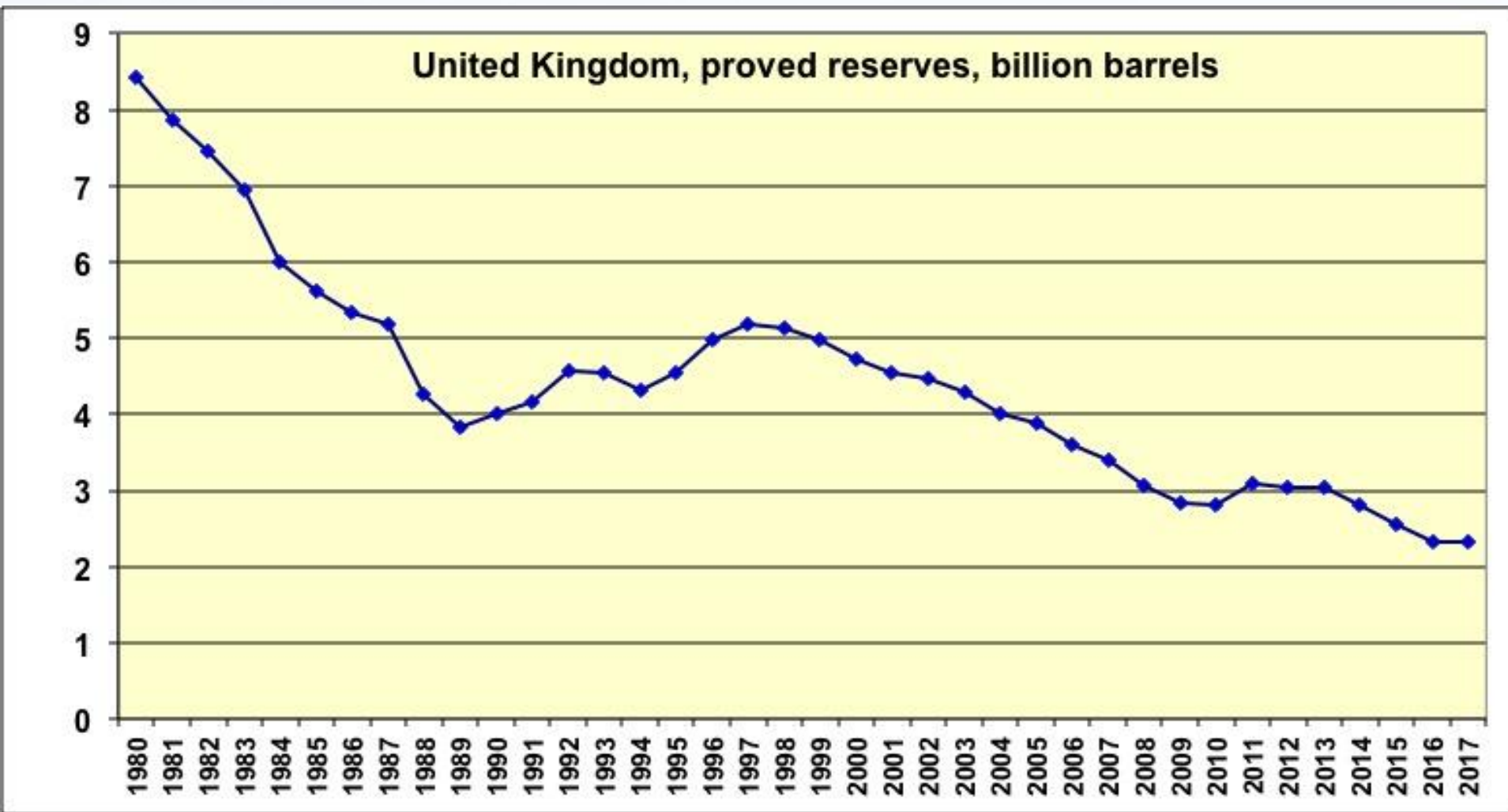
Evolution des réserves prouvées en Inde. Source BP Statistical Review, 2018

Les réserves, normalement sensibles à l'activité des shadoks



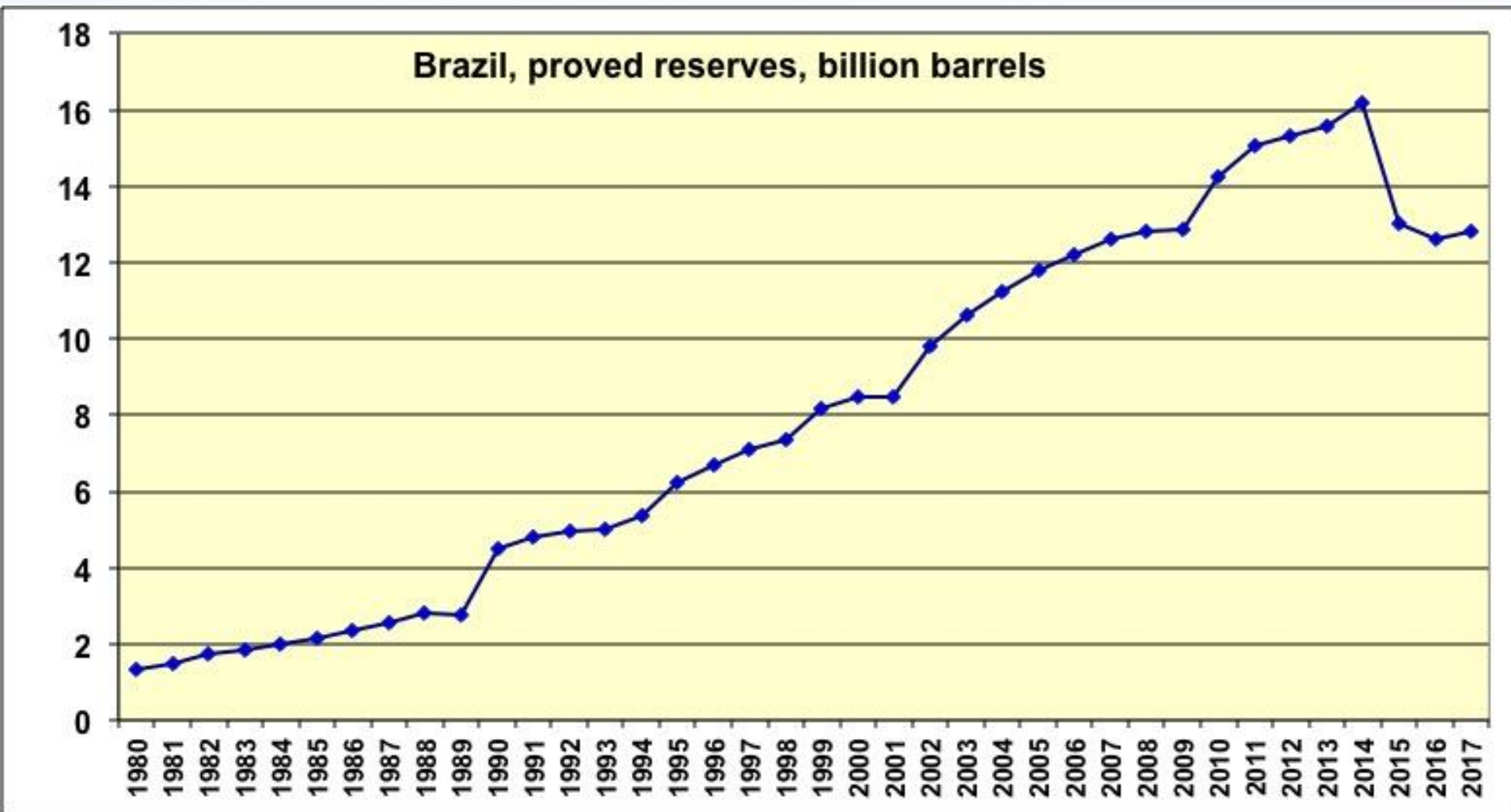
Evolution des réserves prouvées en Norvège (1er producteur de brut en Europe). Source BP Statistical Review, 2018

Les réserves, normalement sensibles à l'activité des shadoks



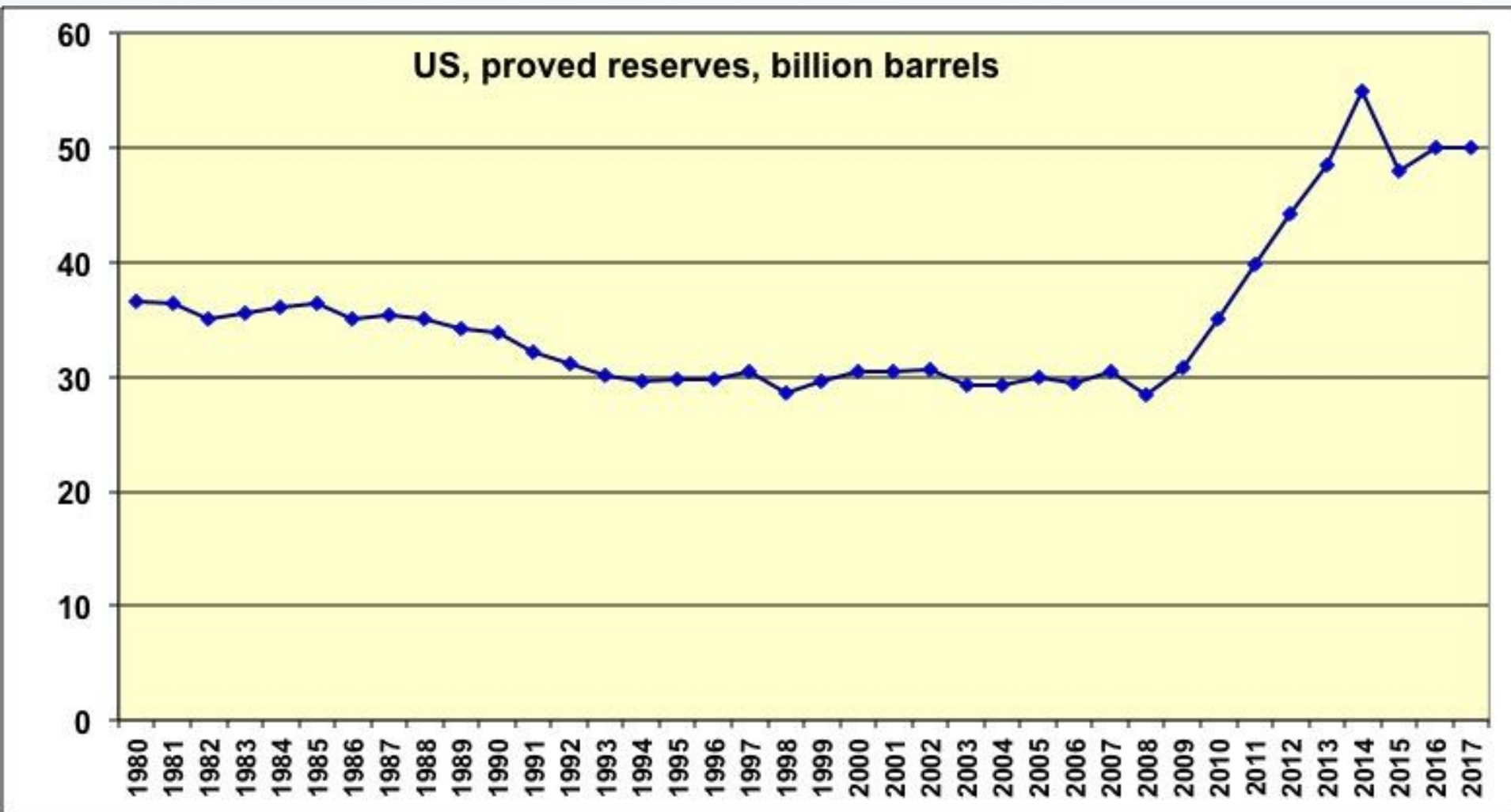
Evolution des réserves prouvées en Grande Bretagne. Source BP Statistical Review, 2018

Les réserves, normalement sensibles à l'activité des shadoks



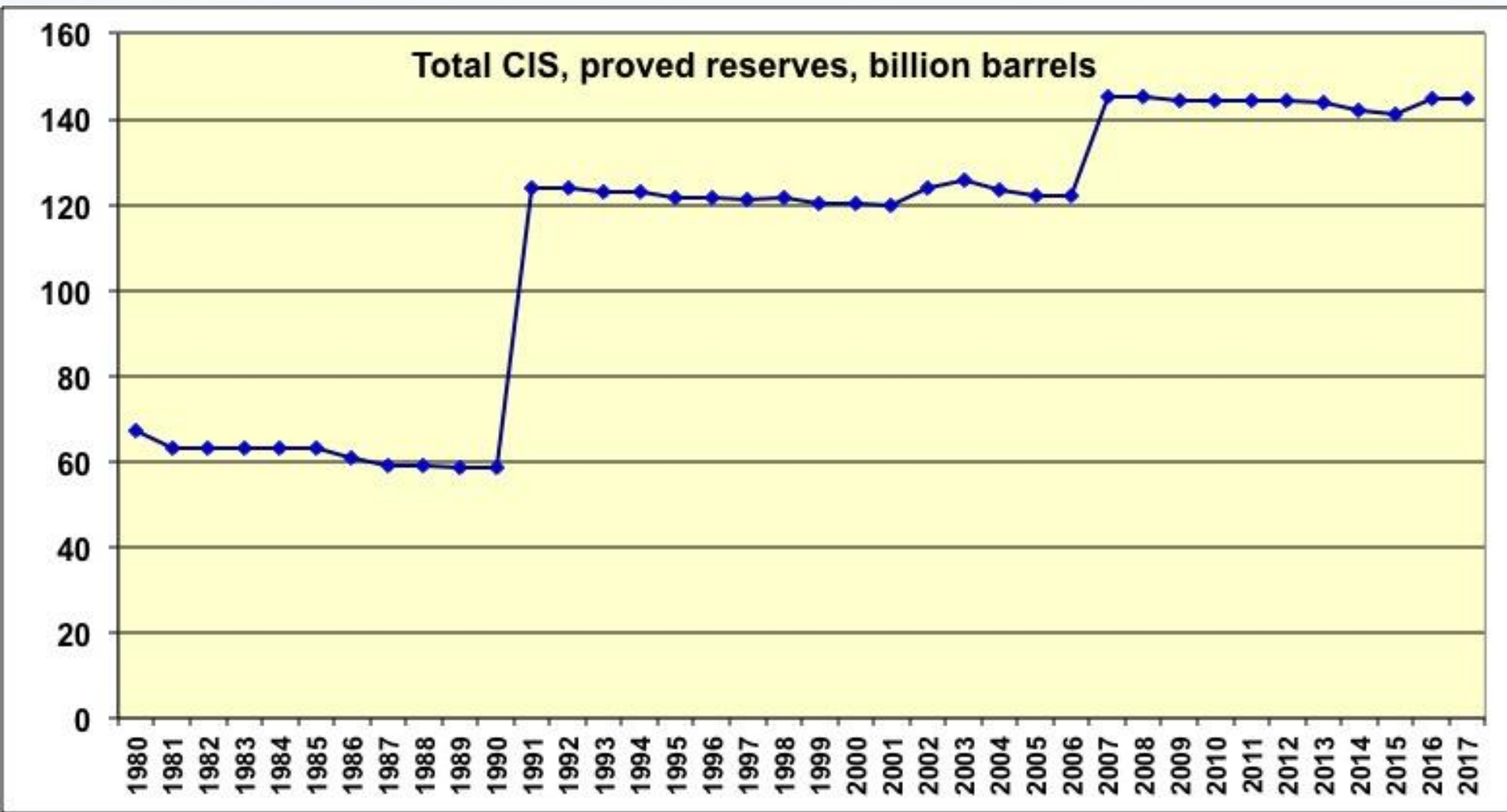
Evolution des réserves prouvées au Brésil. Source BP Statistical Review, 2018

Les réserves, normalement sensibles à l'activité des shadoks



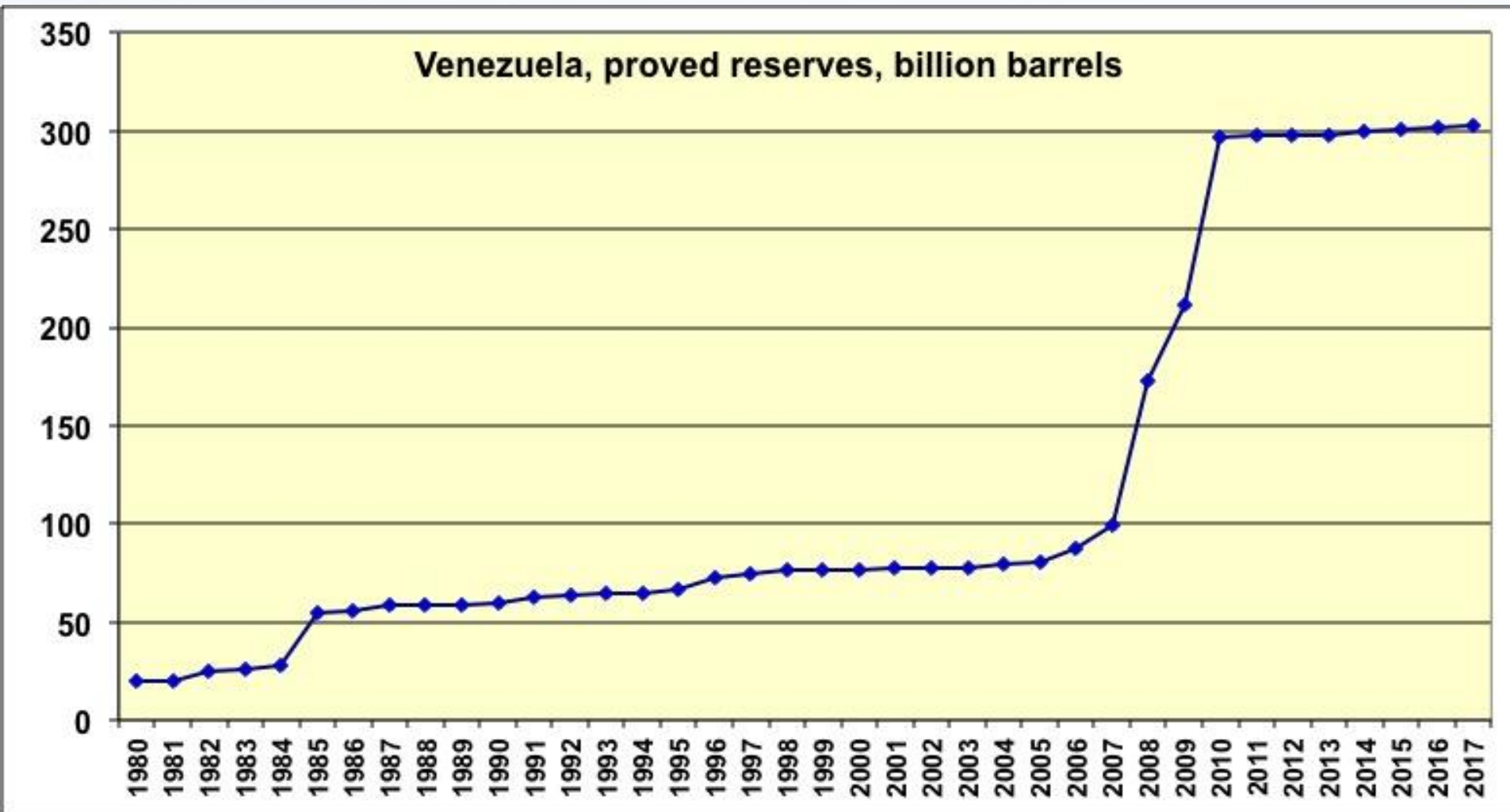
Evolution des réserves prouvées aux USA. Source BP Statistical Review, 2018

Les réserves, normalement sensibles à l'activité des shadoks



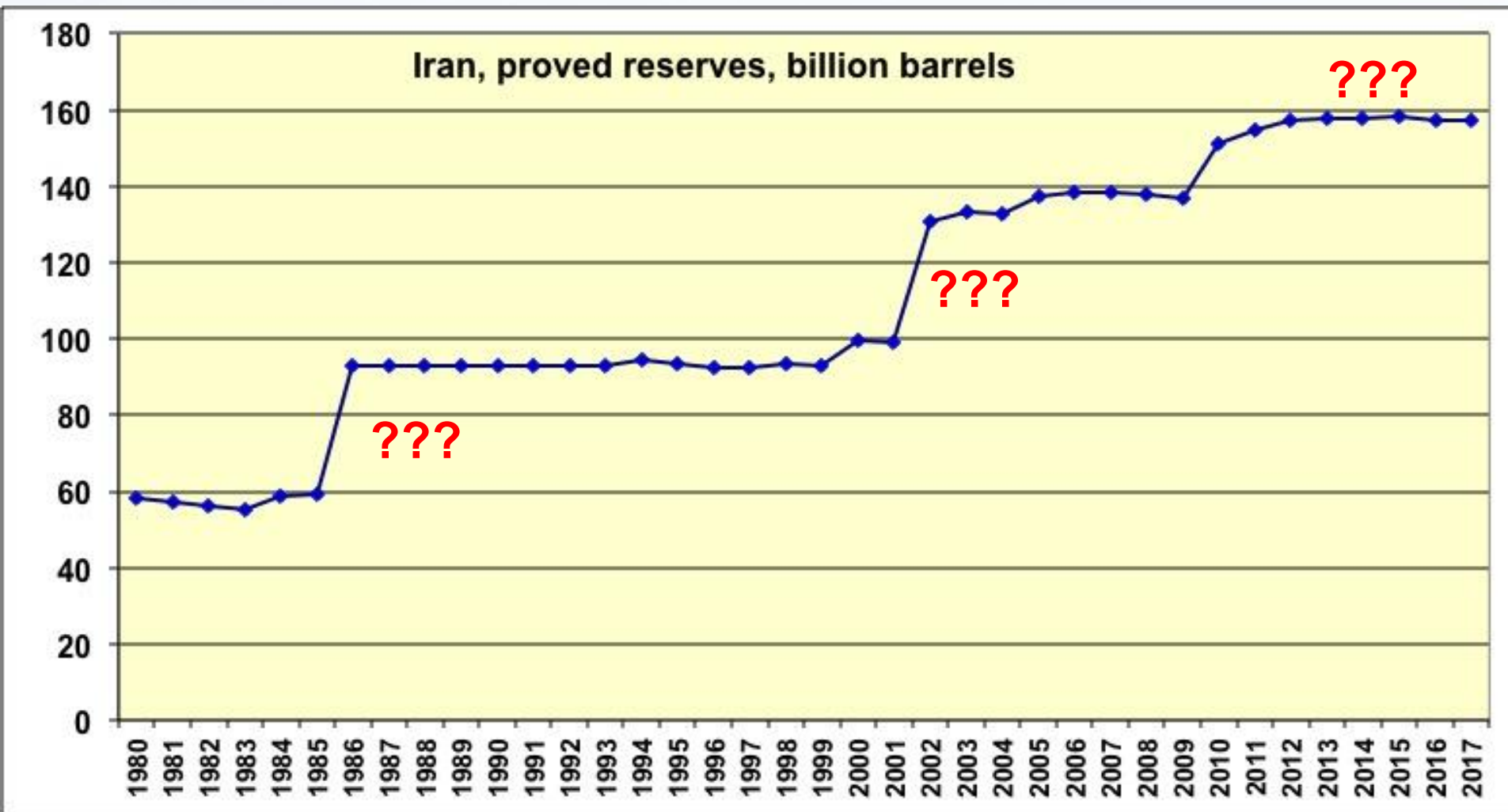
Evolution des réserves prouvées dans l'ancienne URSS. Source BP Statistical Review, 2018

Attention à ne pas confondre réservoir et robinet !



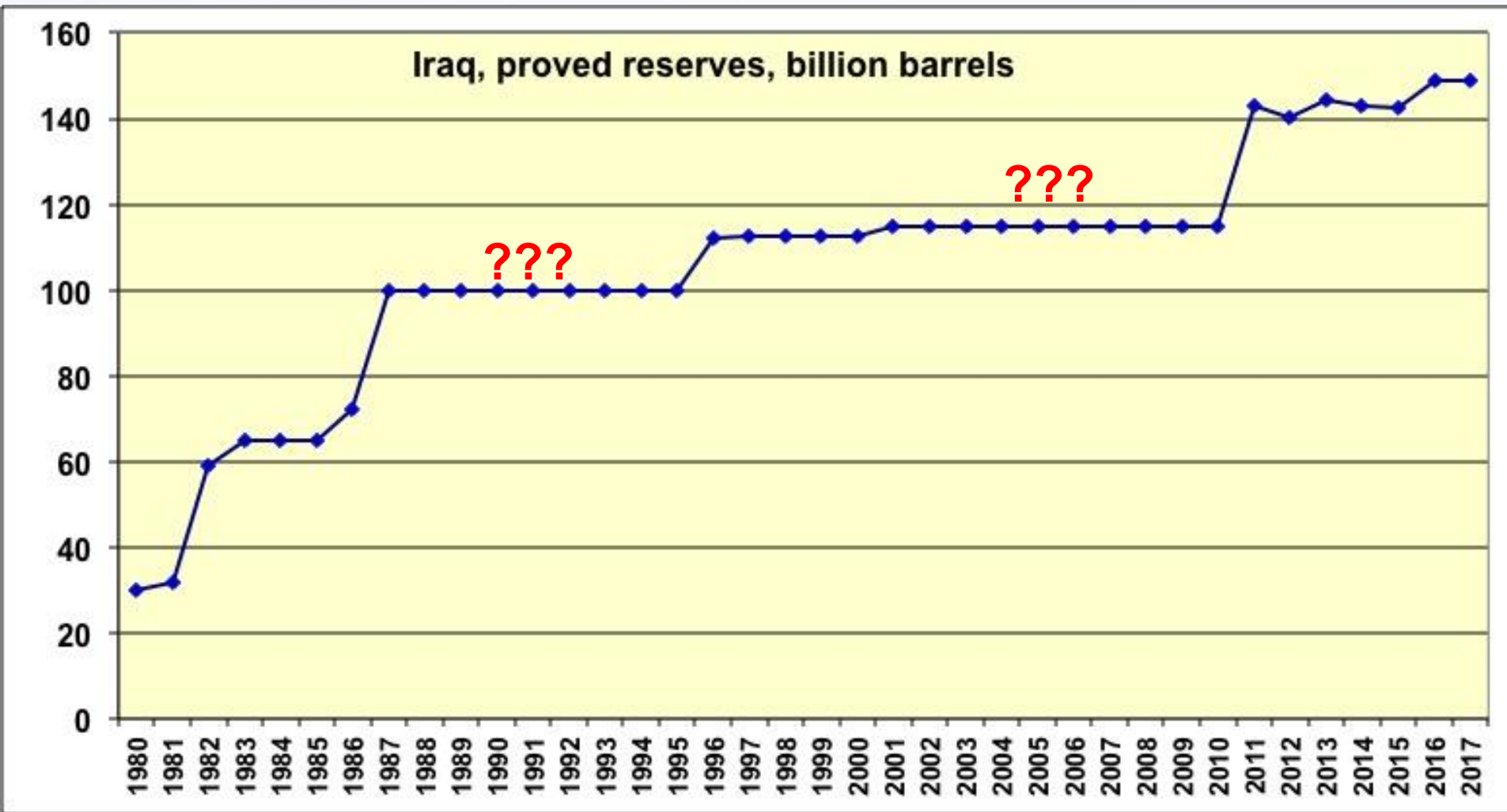
Evolution des réserves prouvées au Venezuela. Source BP Statistical Review, 2018

Les réserves, insensibles à l'activité des shadoks ?



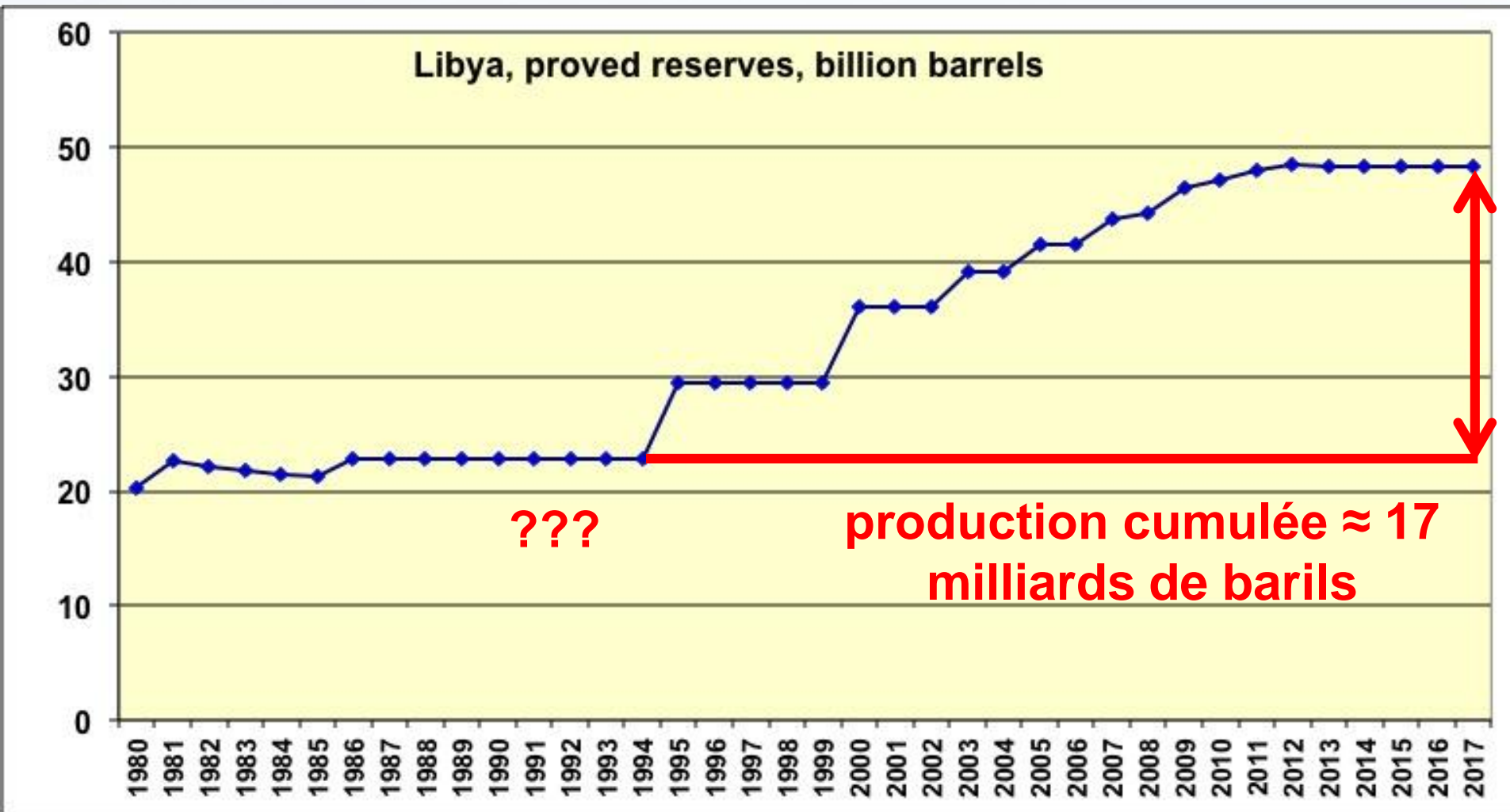
Evolution des réserves prouvées en Iran. Source BP Statistical Review, 2018

Les réserves, insensibles à l'activité des shadoks ?



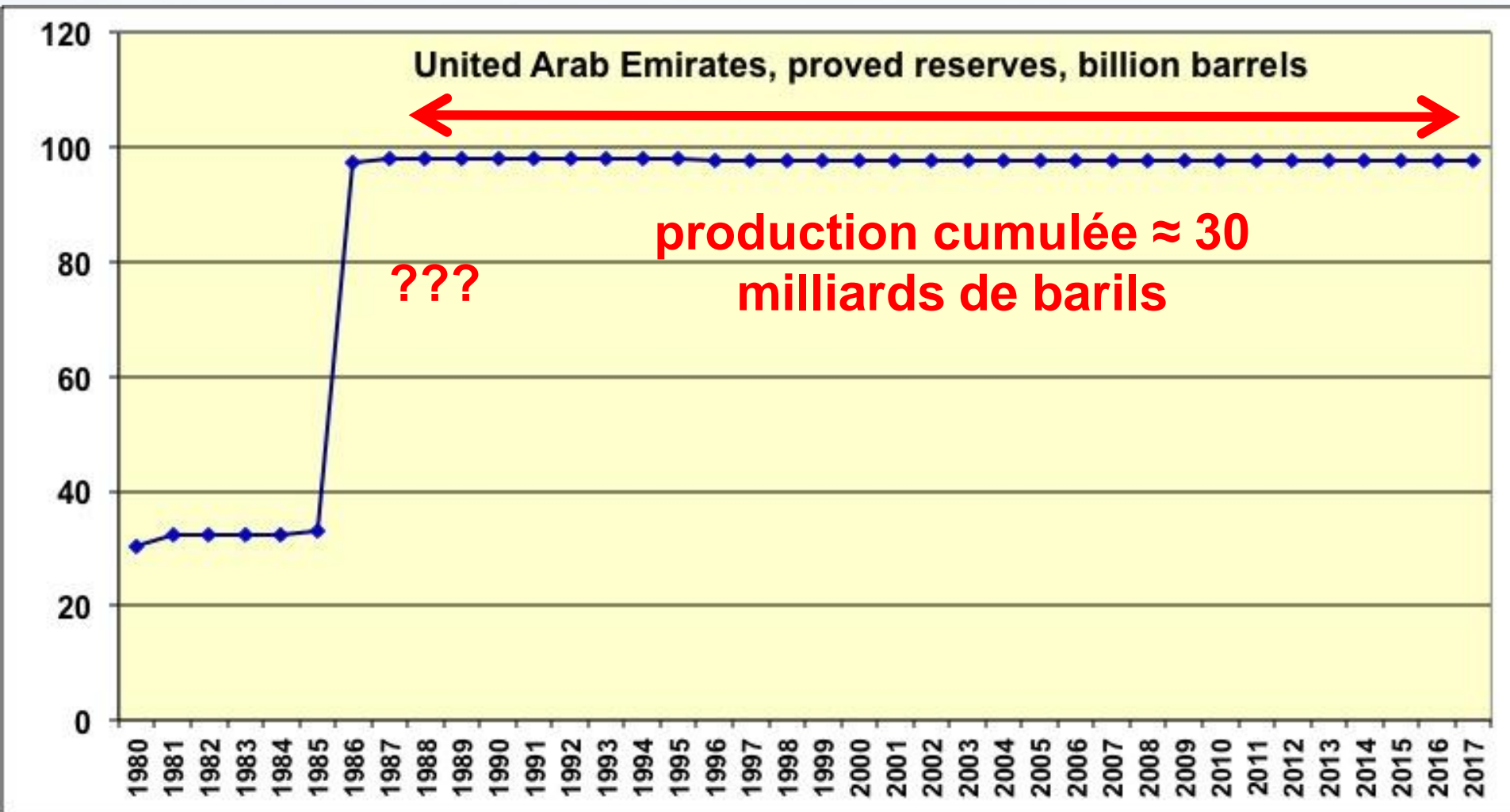
Evolution des réserves prouvées en Irak. Source BP Statistical Review, 2018

Les réserves, insensibles à l'activité des shadoks ?



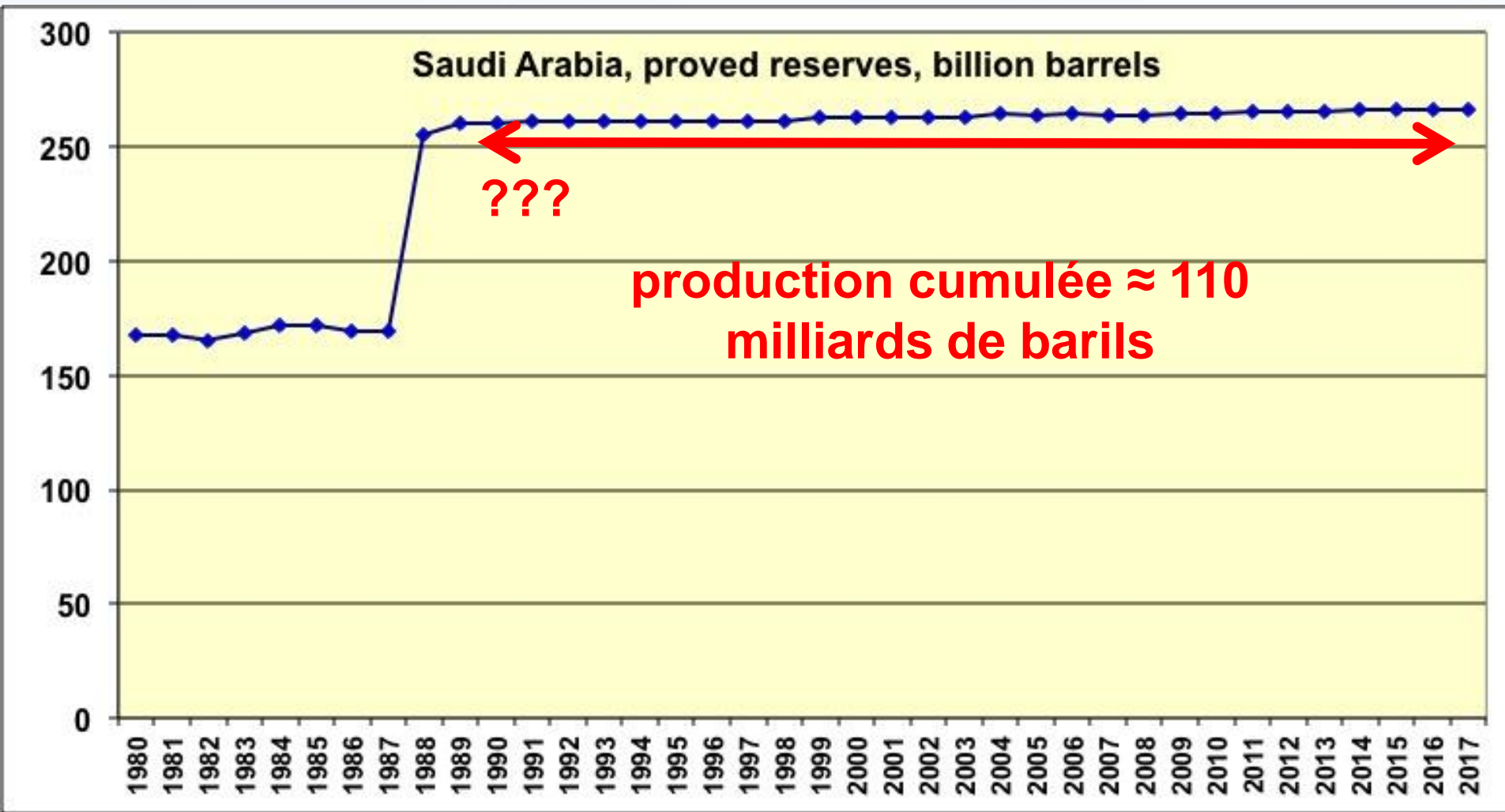
Evolution des réserves prouvées en Libye. Source BP Statistical Review, 2018

Les réserves, insensibles à l'activité des shadoks ?



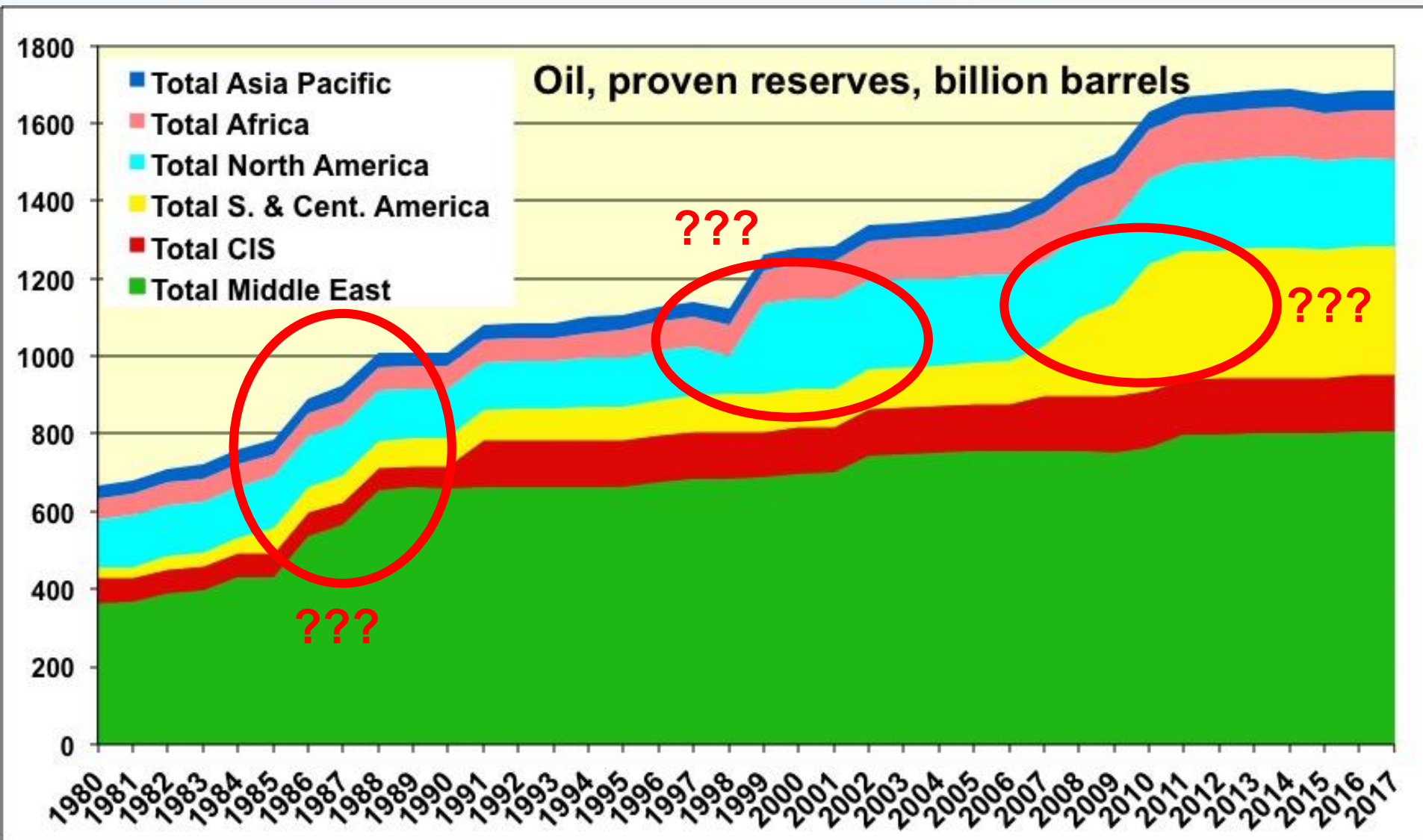
Evolution des réserves prouvées aux Emirats. Source BP Statistical Review, 2018

Les réserves, insensibles à l'activité des shadoks ?



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

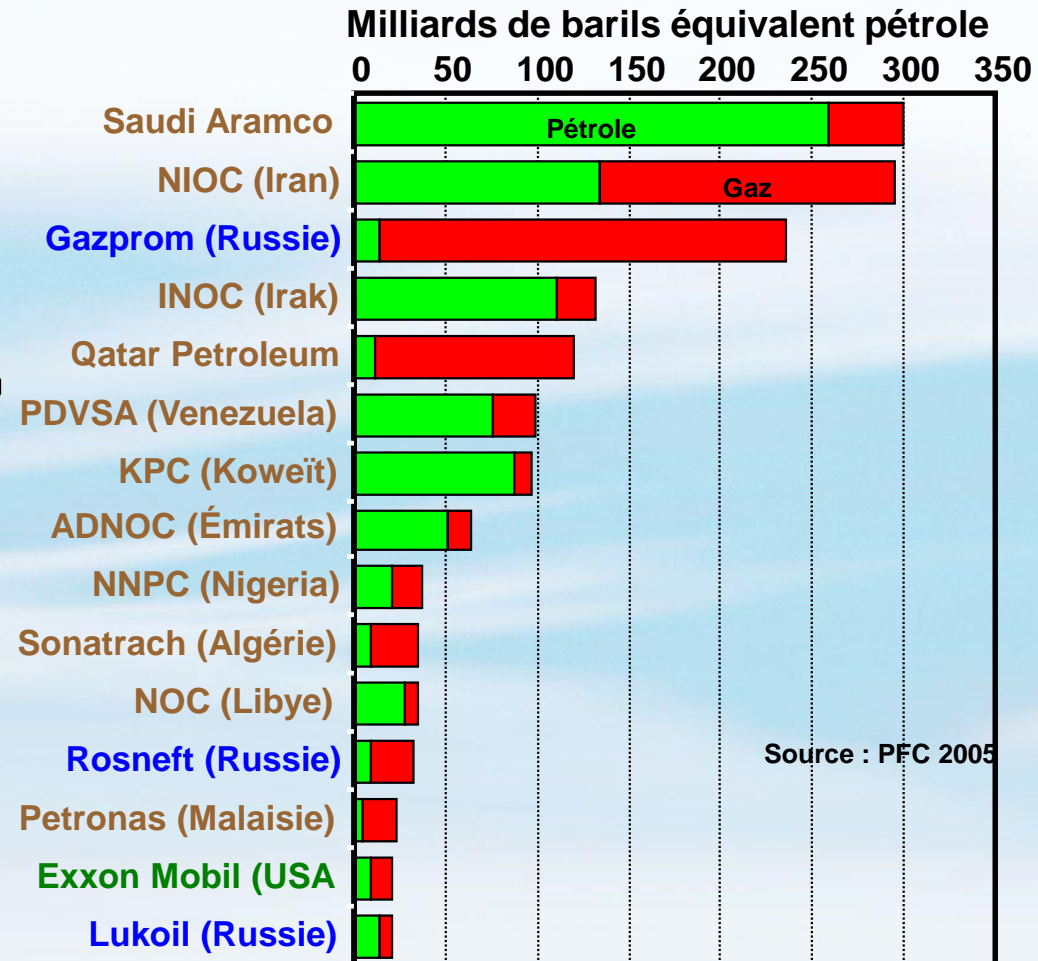
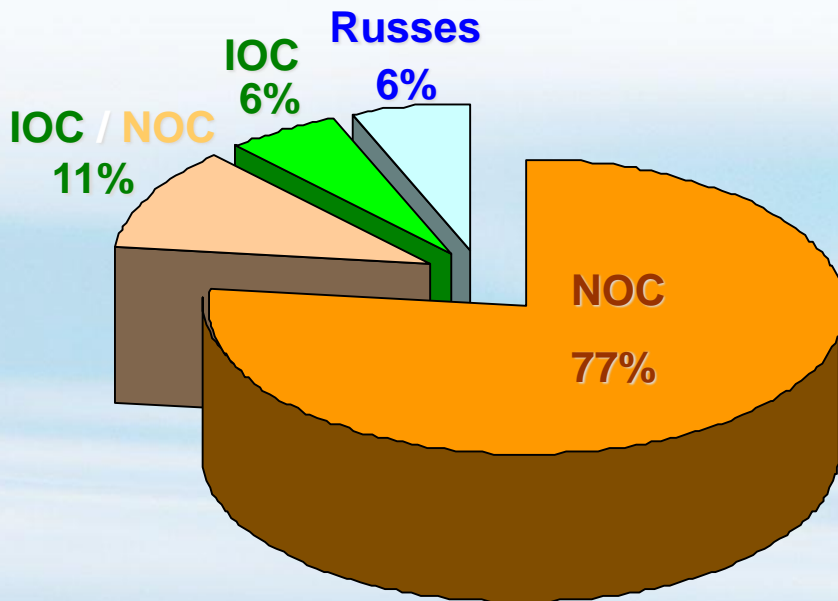
Et en plus les réserves prouvées sont un poker menteur...



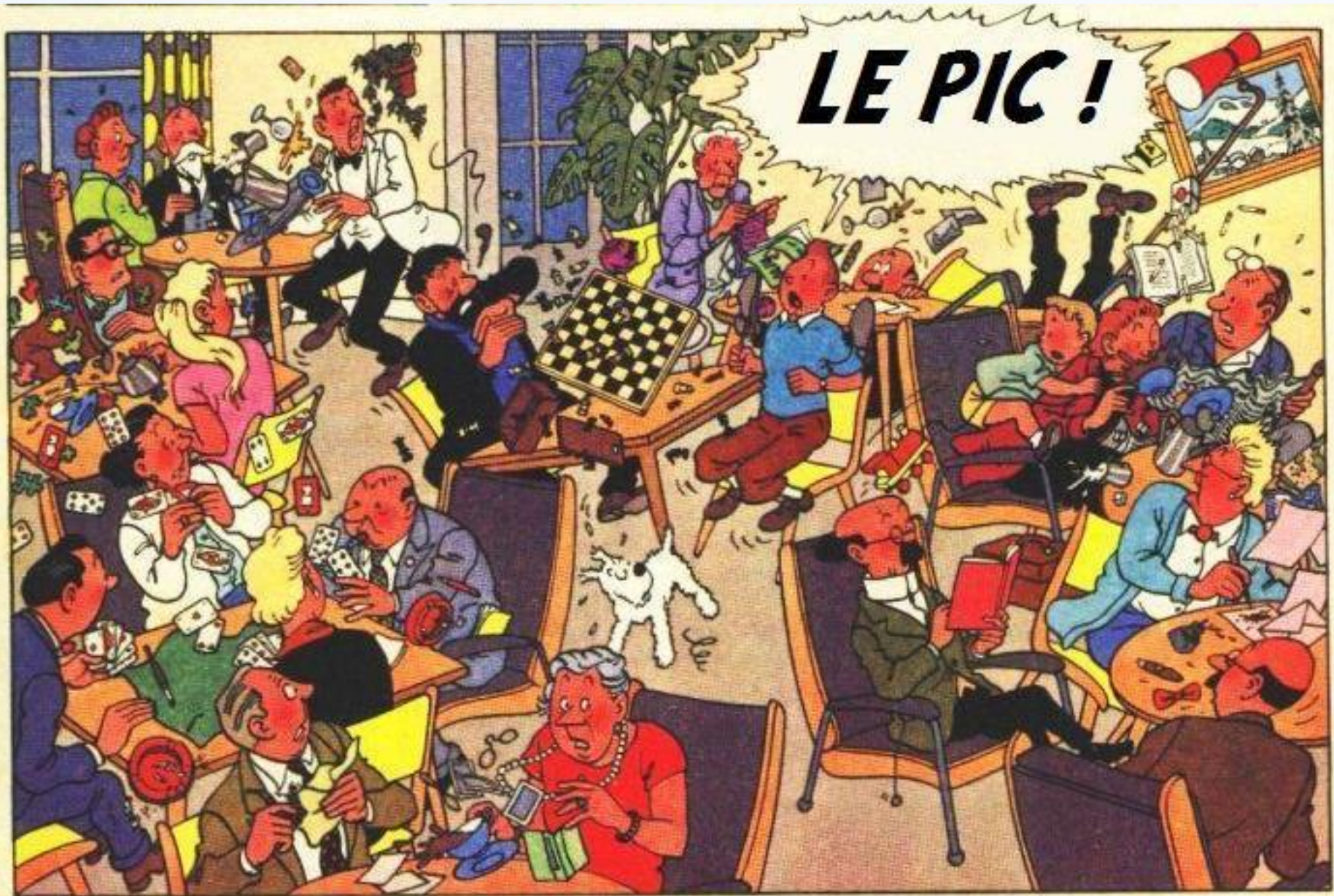
Evolution des réserves prouvées (déclarées) de pétrole, de 1980 à 201.

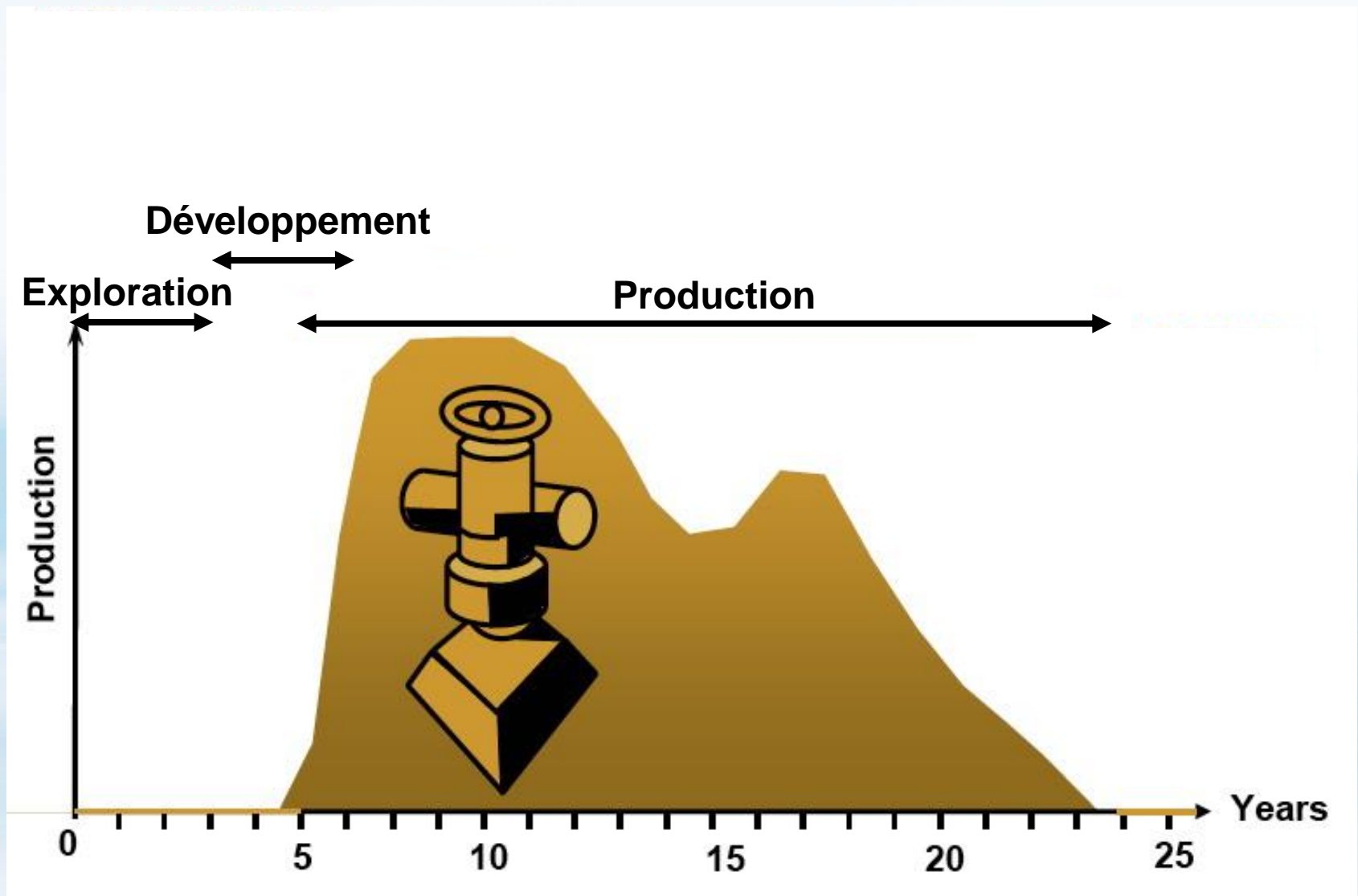
Source BP Statistical Review 2017

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

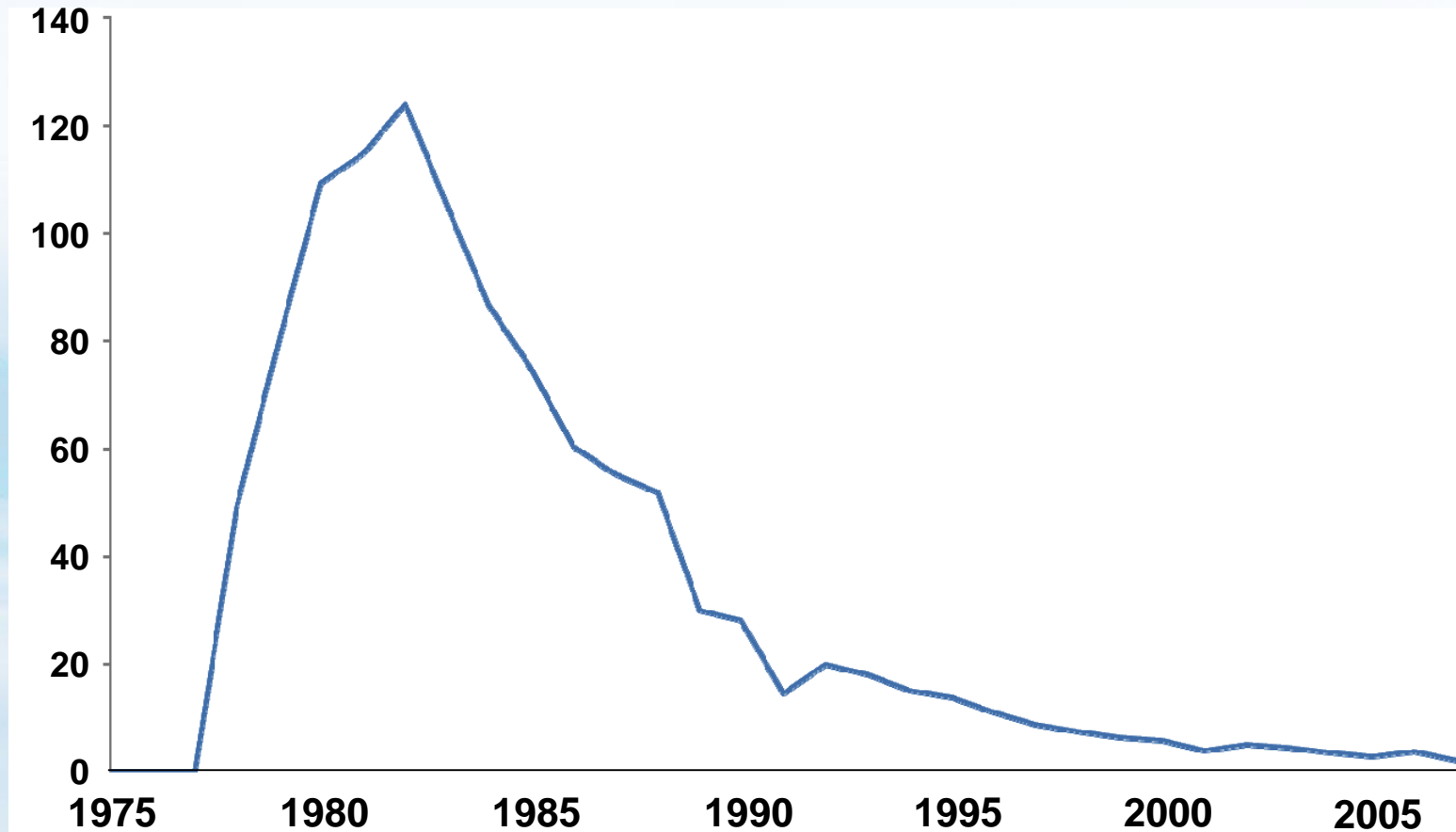


Les maths, c'est décidément détestable...

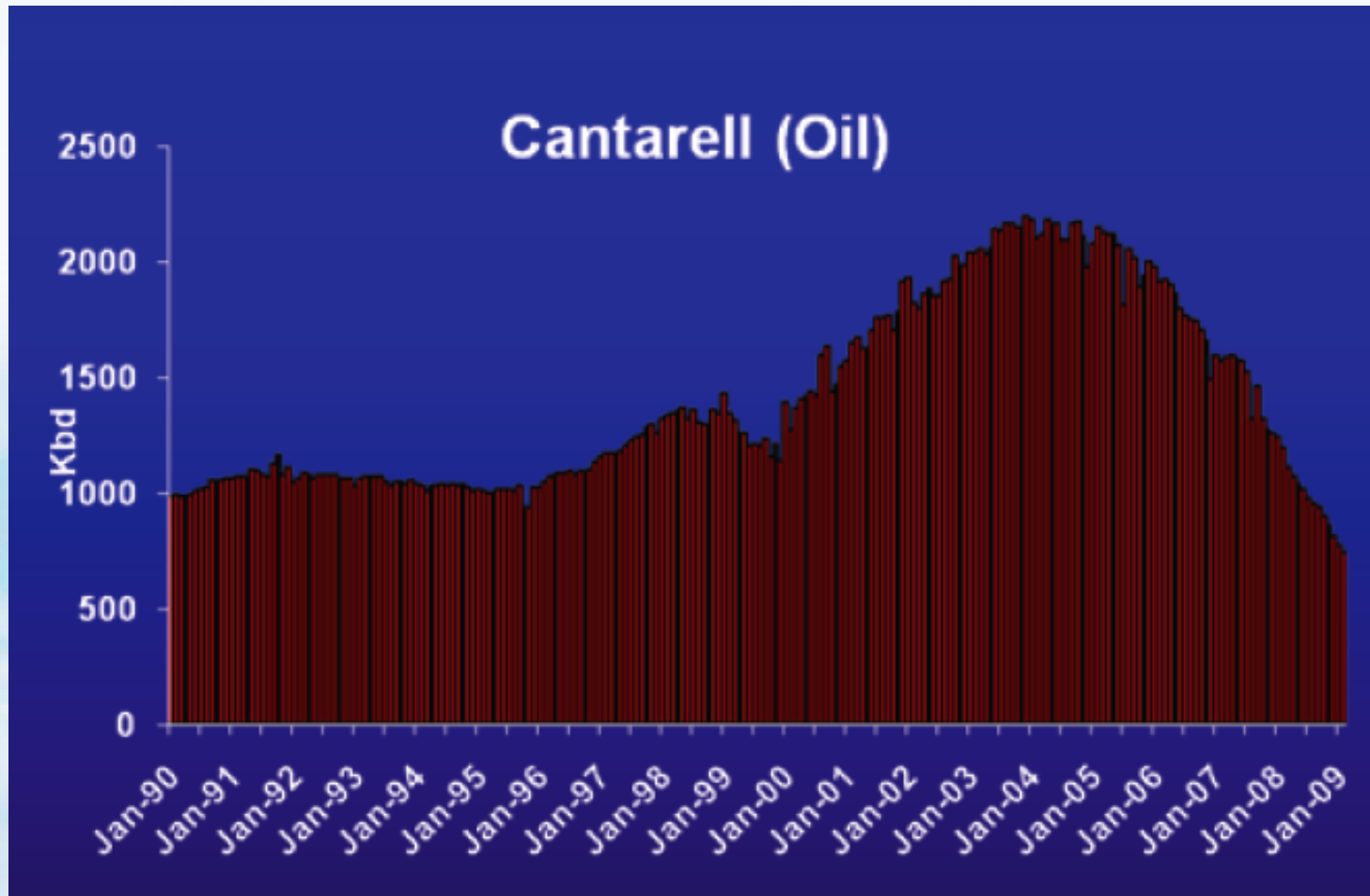




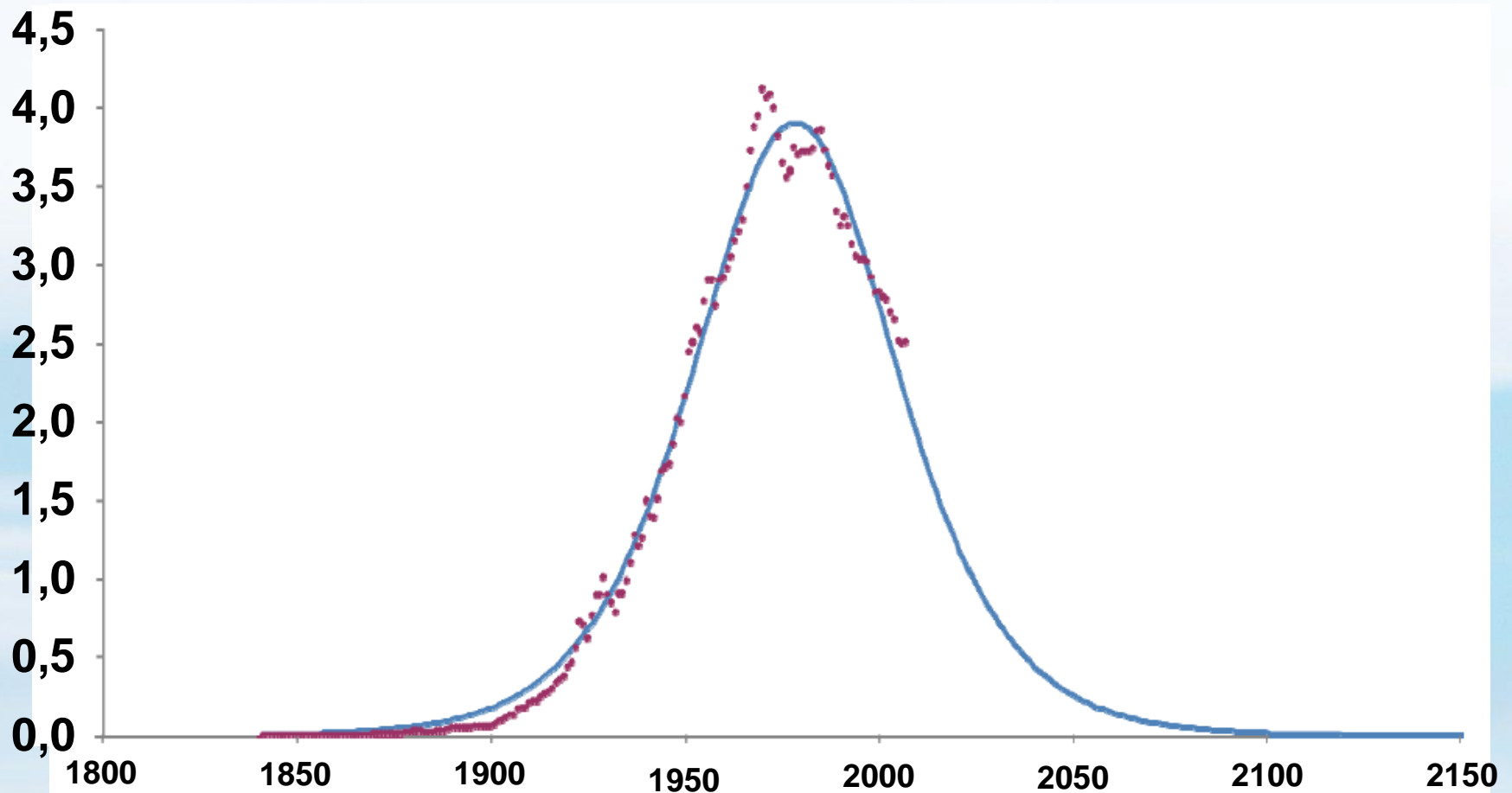
Aspect générique de la vie d'un champ de pétrole. La production a lieu quand il y a une aire marron. Source Pierre-René Bauquis, 2008.



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

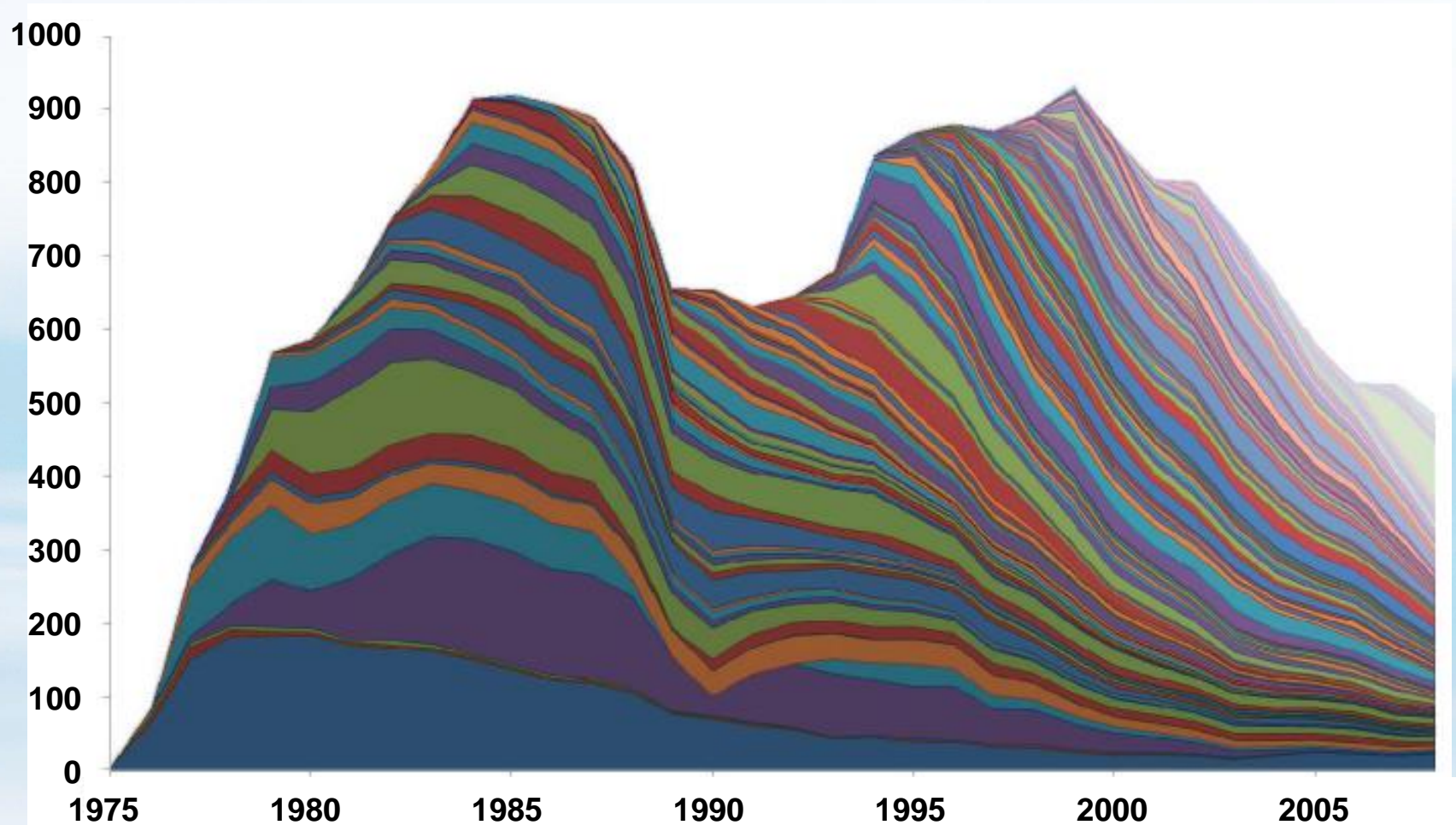


Production de pétrole du champ de Cantarell (Mexique). Source Matthews Simmons, Simmons & cy, 2009



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

Un double pic est aussi possible

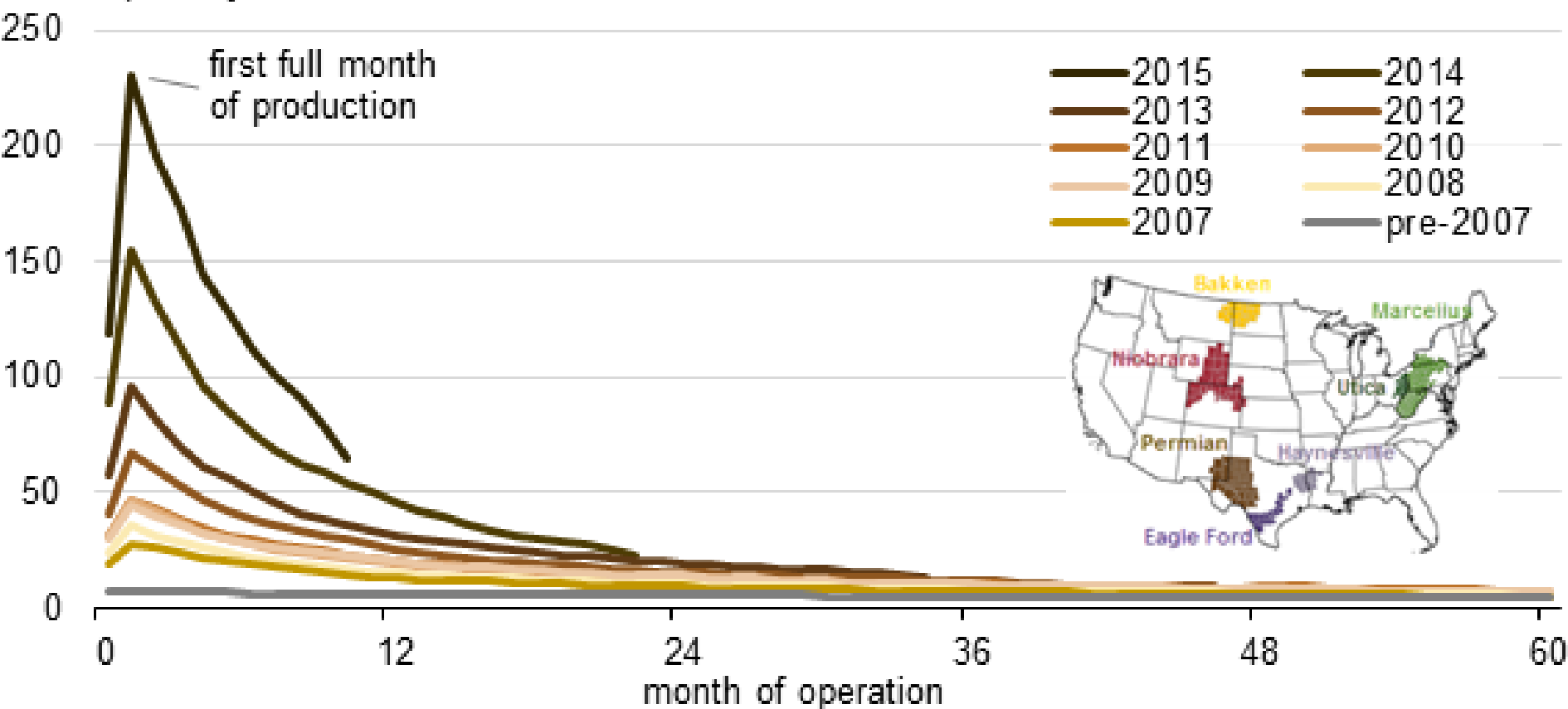


Production pétrolière du Royaume Uni, en millions de barils par an, avec une décomposition par champ. Source UK Energy Research Centre, 2010

Le pic est très rapide pour un puits de shale oil

Average oil production per well in the Permian region

barrels per day

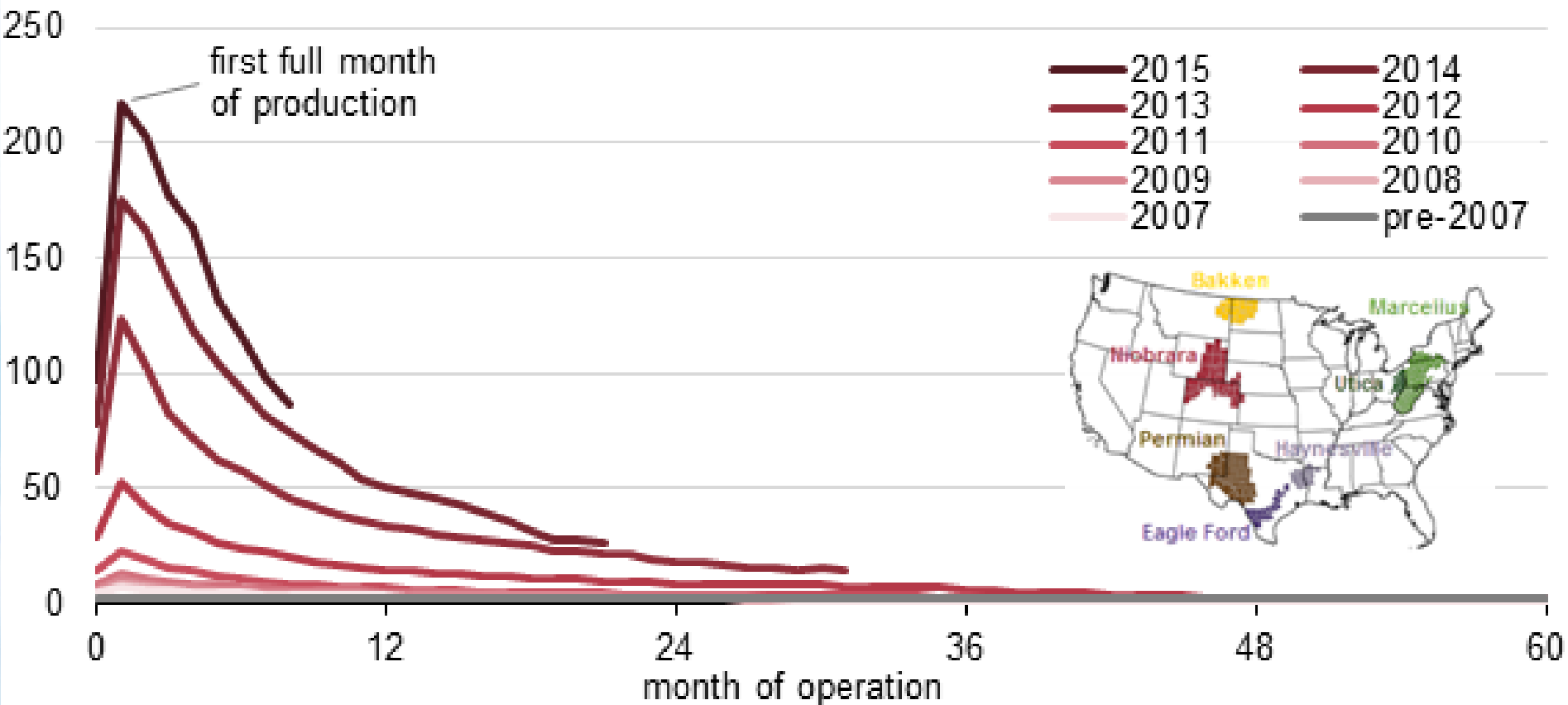


Production par puits dans le Permien (premier champ de pétrole de roche mère aux USA). Energy Information Agency, 2019

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

Average oil production per well in the Niobrara region

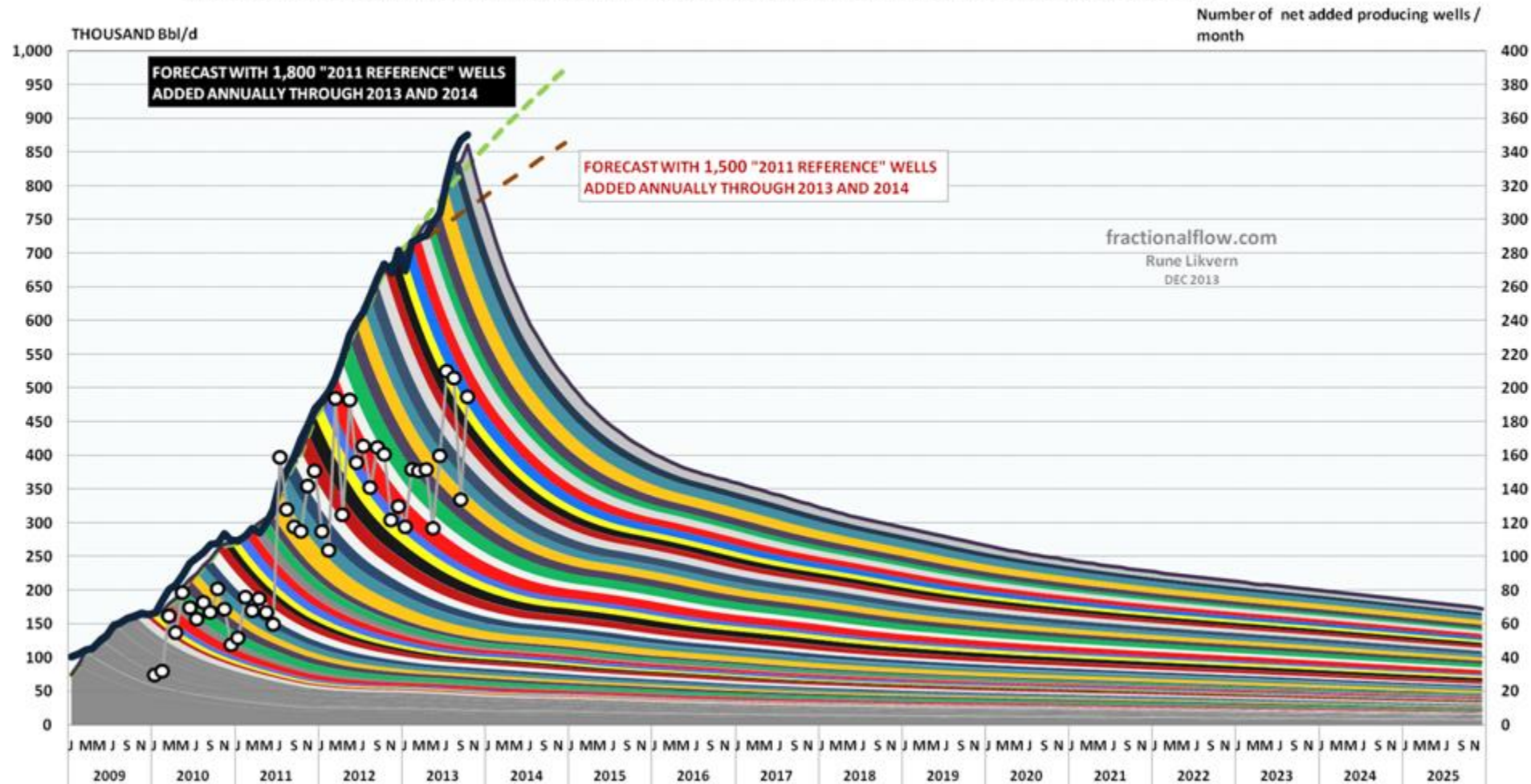
barrels per day



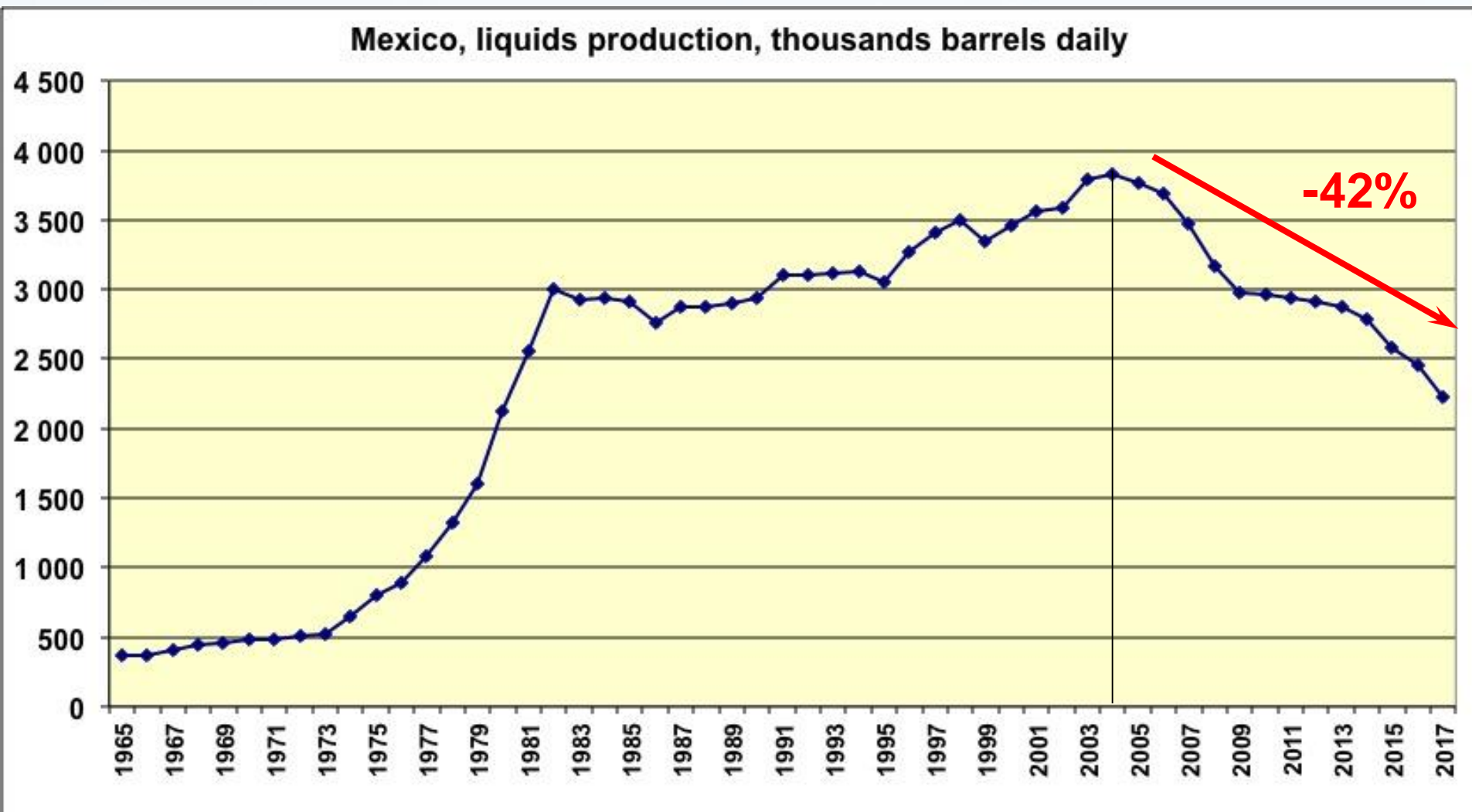
Production par puits dans le Niobara (premier champ de pétrole de roche mère aux USA). Energy Information Agency, 2019

Et donc il faut faire des trous en permanence !

"2011 REFERENCE" BAKKEN_(ND) WELL - TIGHT OIL DEVELOPMENT,
NUMBER OF PRODUCING WELLS ADDED AND MODELLED TOTAL PRODUCTION vs ACTUAL



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



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

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

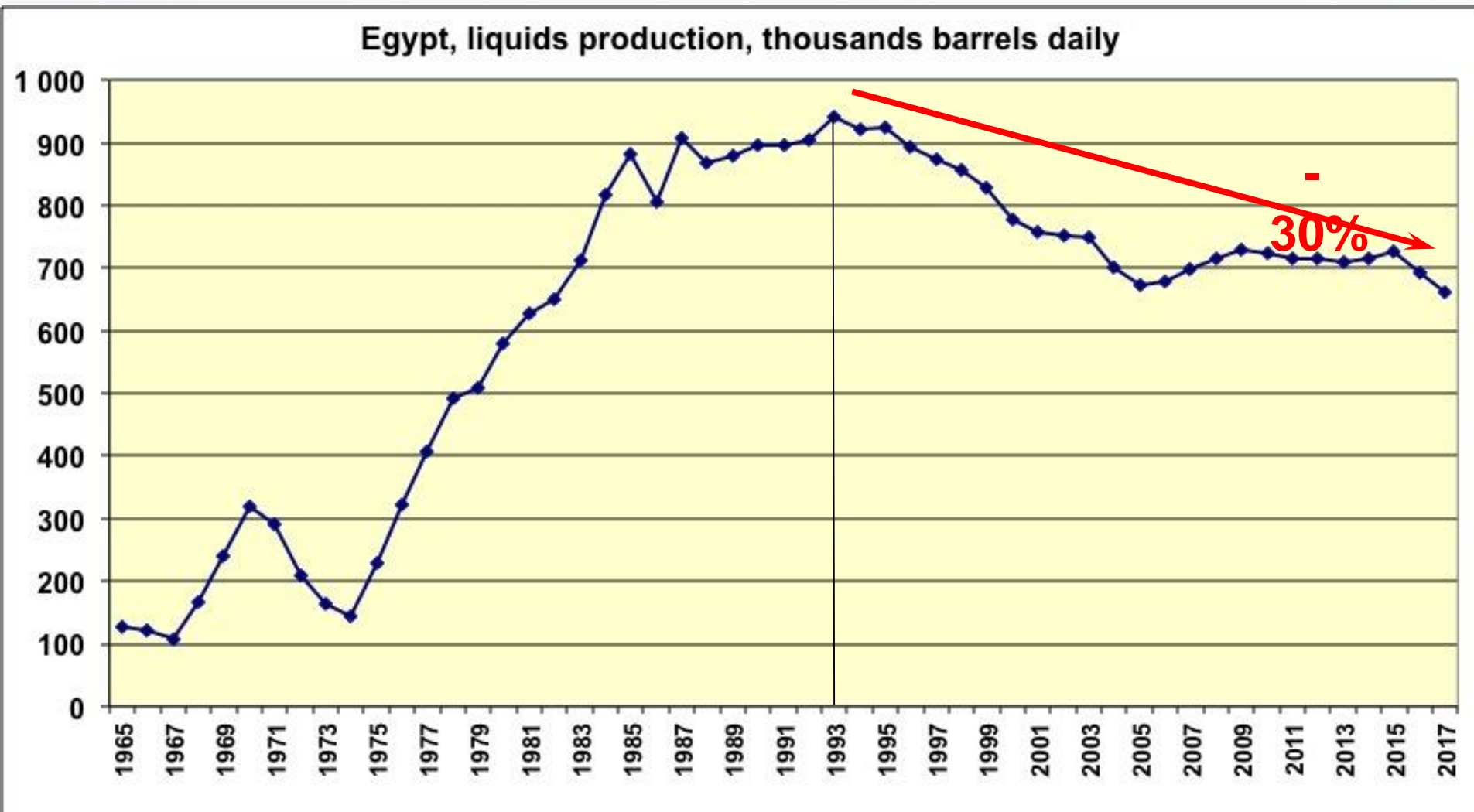
Comment passer de grosses recettes à de menues dépenses

Argentina, oil trade (negative = exports), million tonnes per year



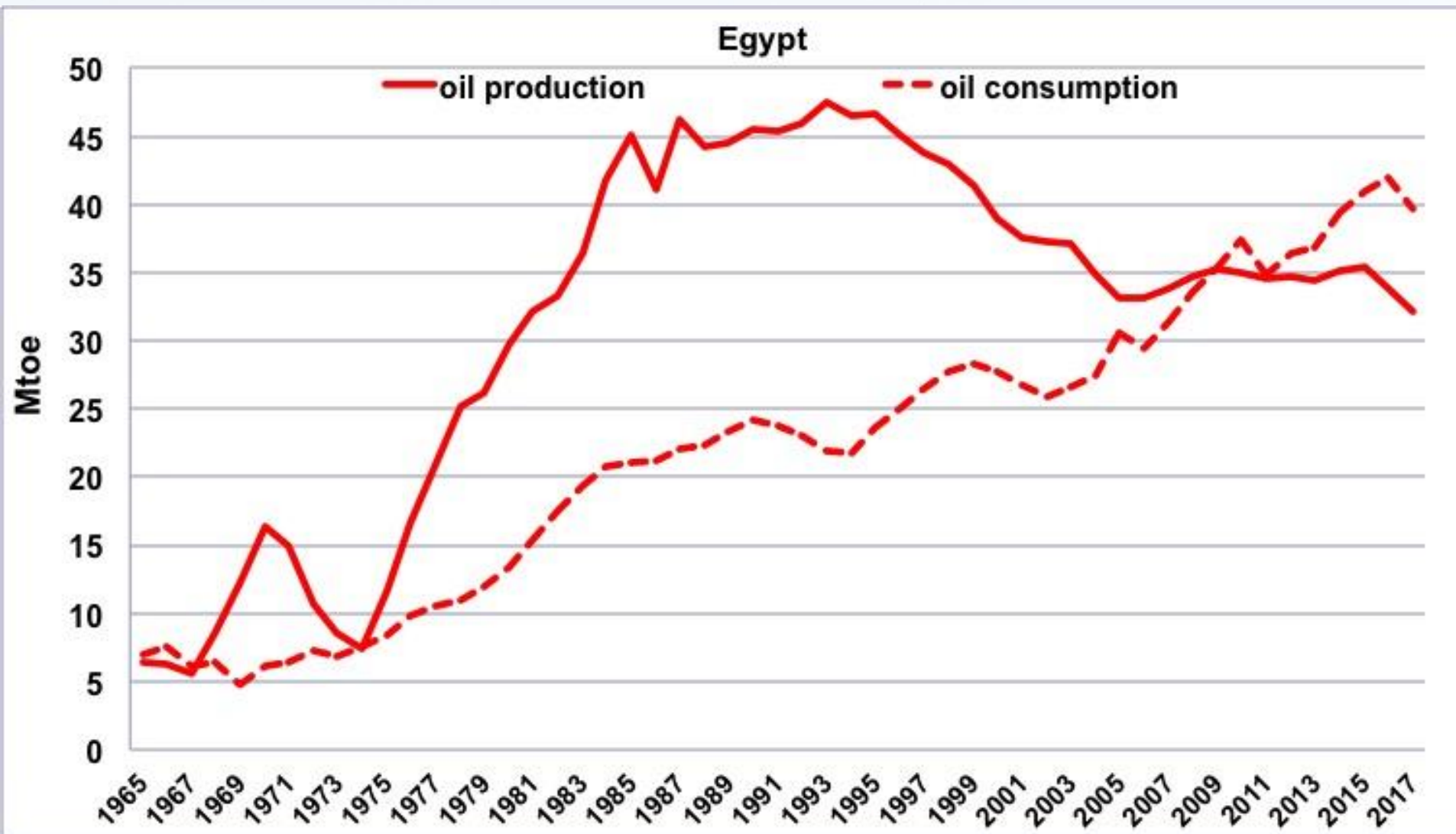
Solde importateur de pétrole de l'Argentine. Calculs Jancovici sur données BP Statistical Review, 2018

Le pic, une réalité déjà fréquente



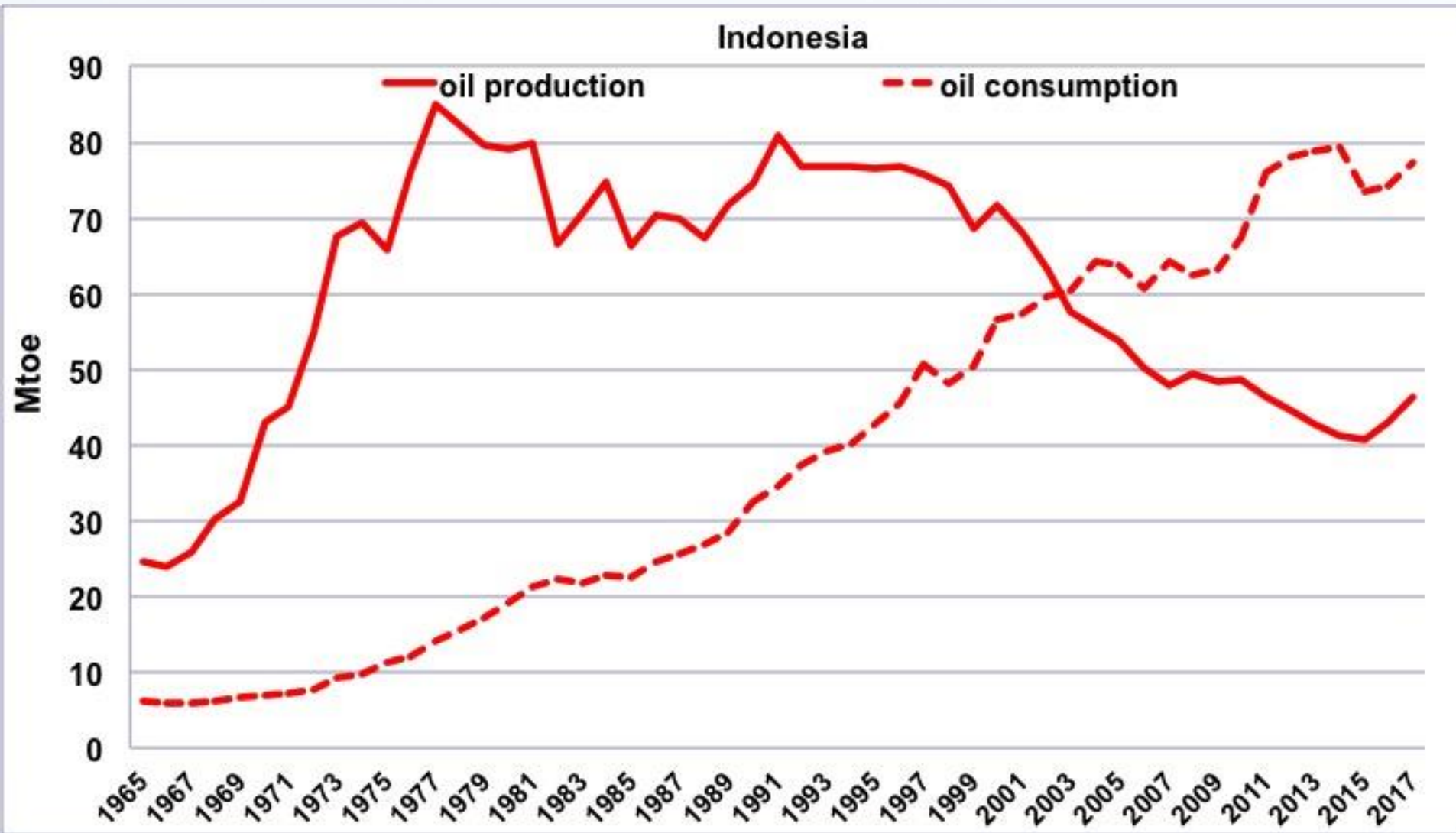
Production de pétrole en Egypte (< 1% de la production mondiale), en milliers de barils/jour. Source BP Statistical Review, 2018

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

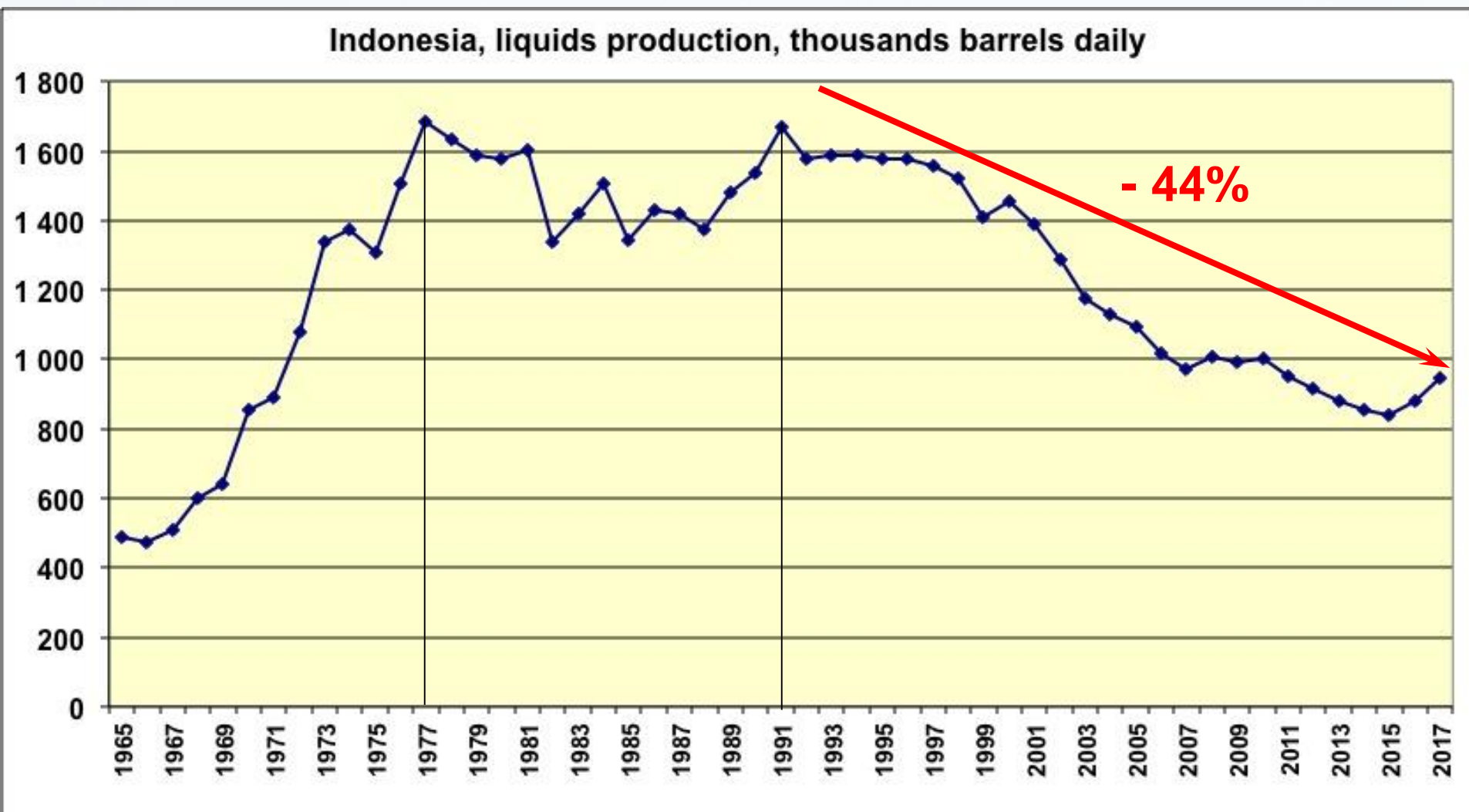


Production et consommation intérieure en Egypte. D'après BP Statistical Review 2018

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

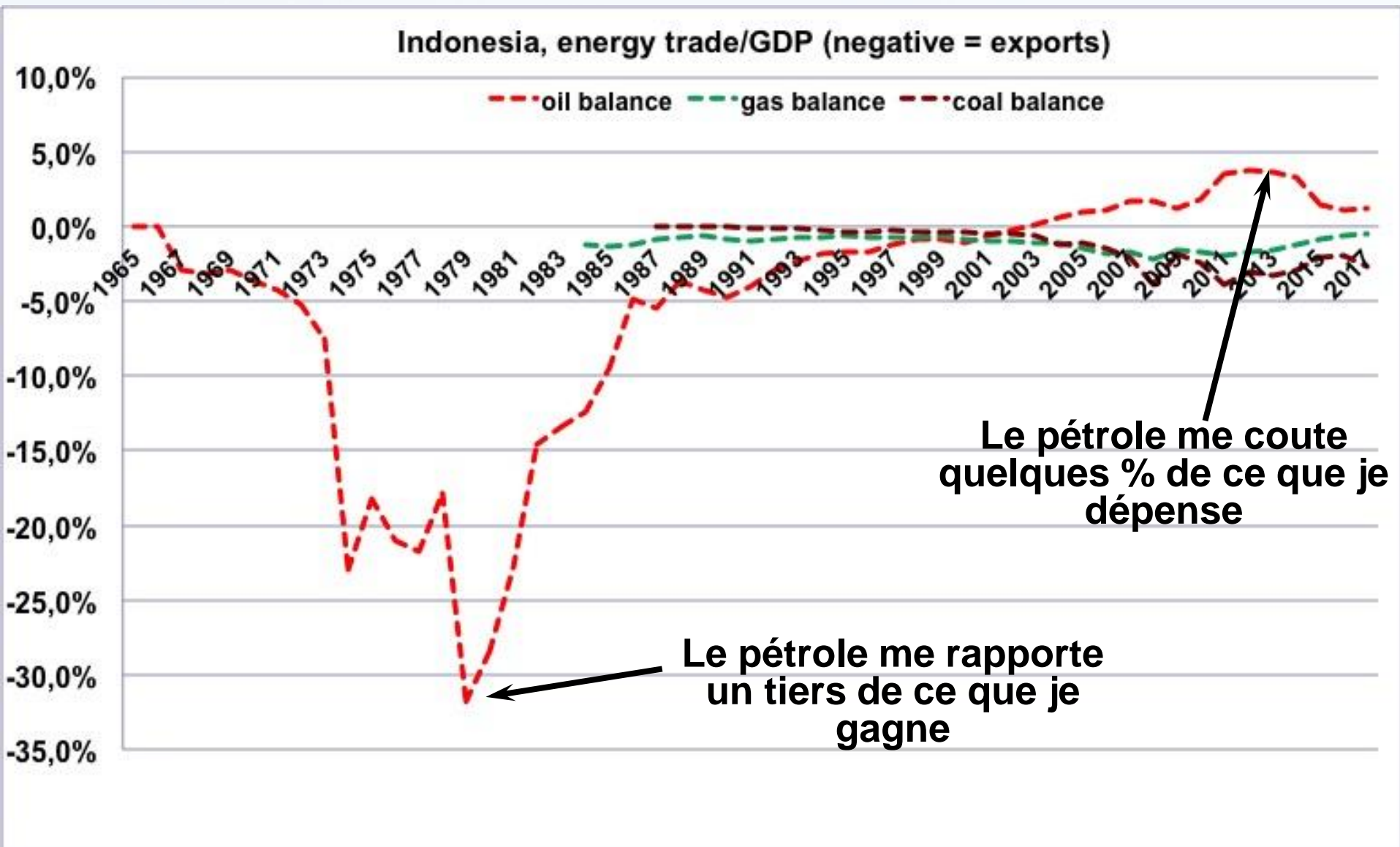


Production et consommation intérieure en Indonésie. D'après BP Statistical Review 2018

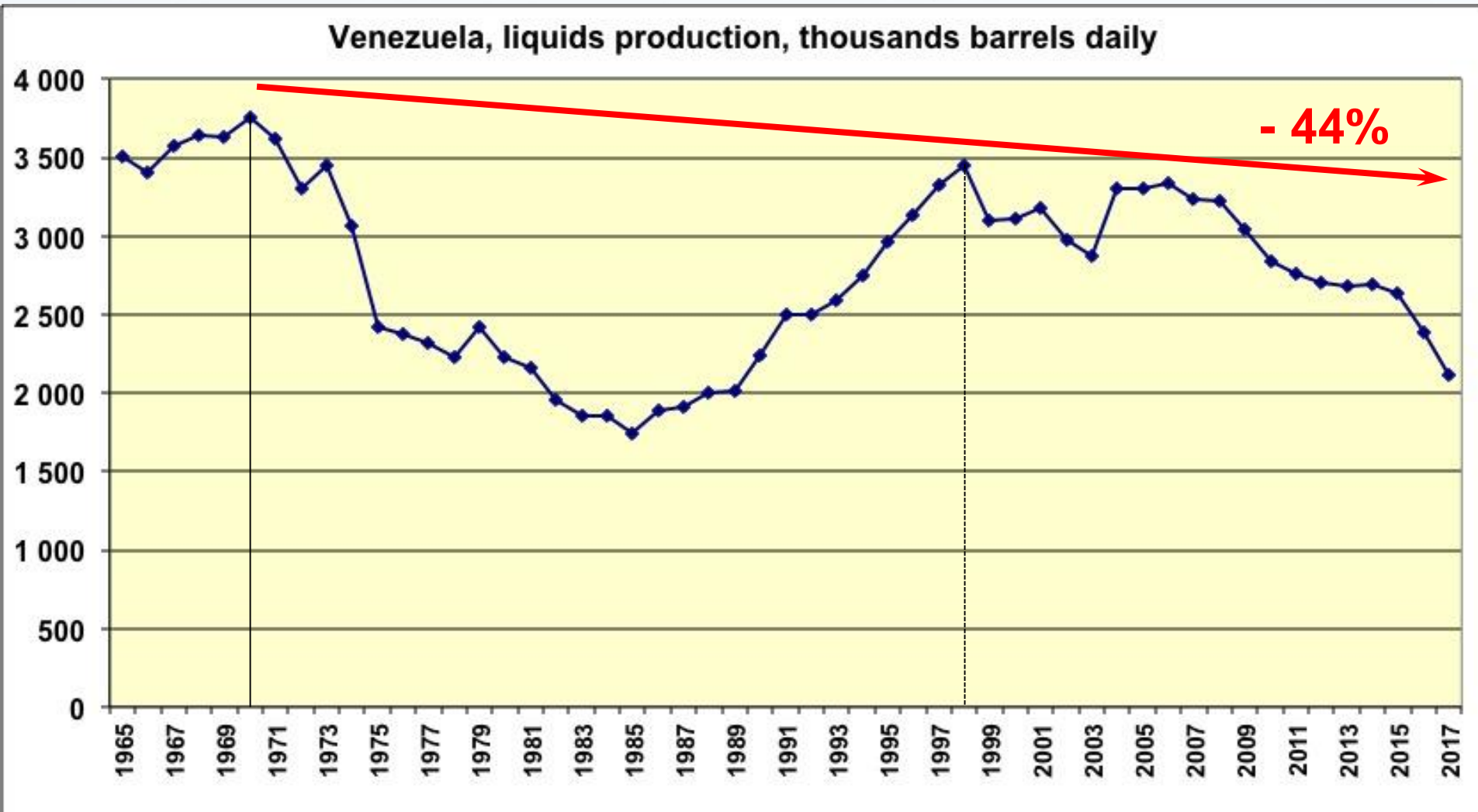


Production de pétrole en Indonésie (1% de la production mondiale), en milliers de barils/jour. Source BP Statistical Review, 2018

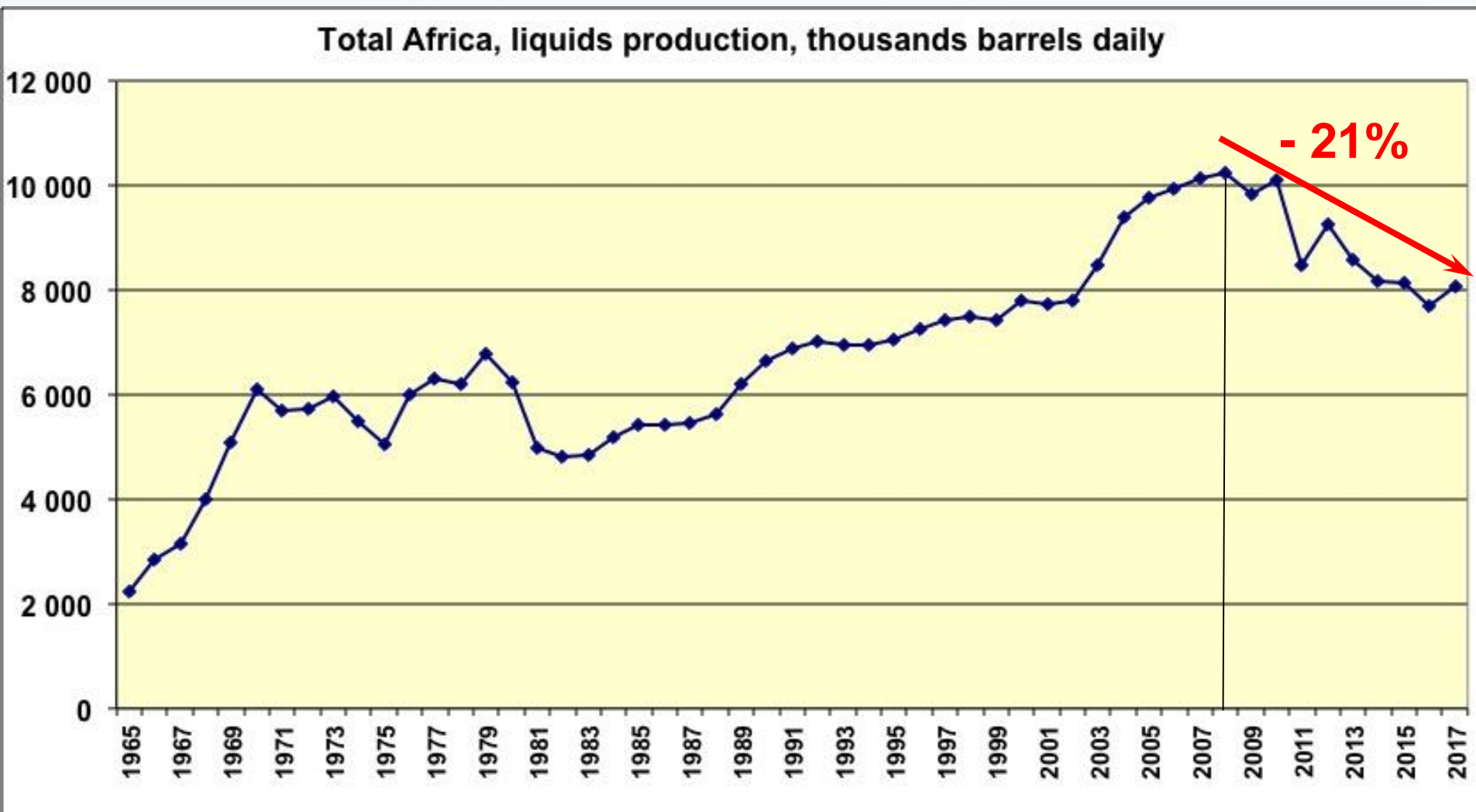
Je gagnais quelques sous, mais c'est du passé !



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

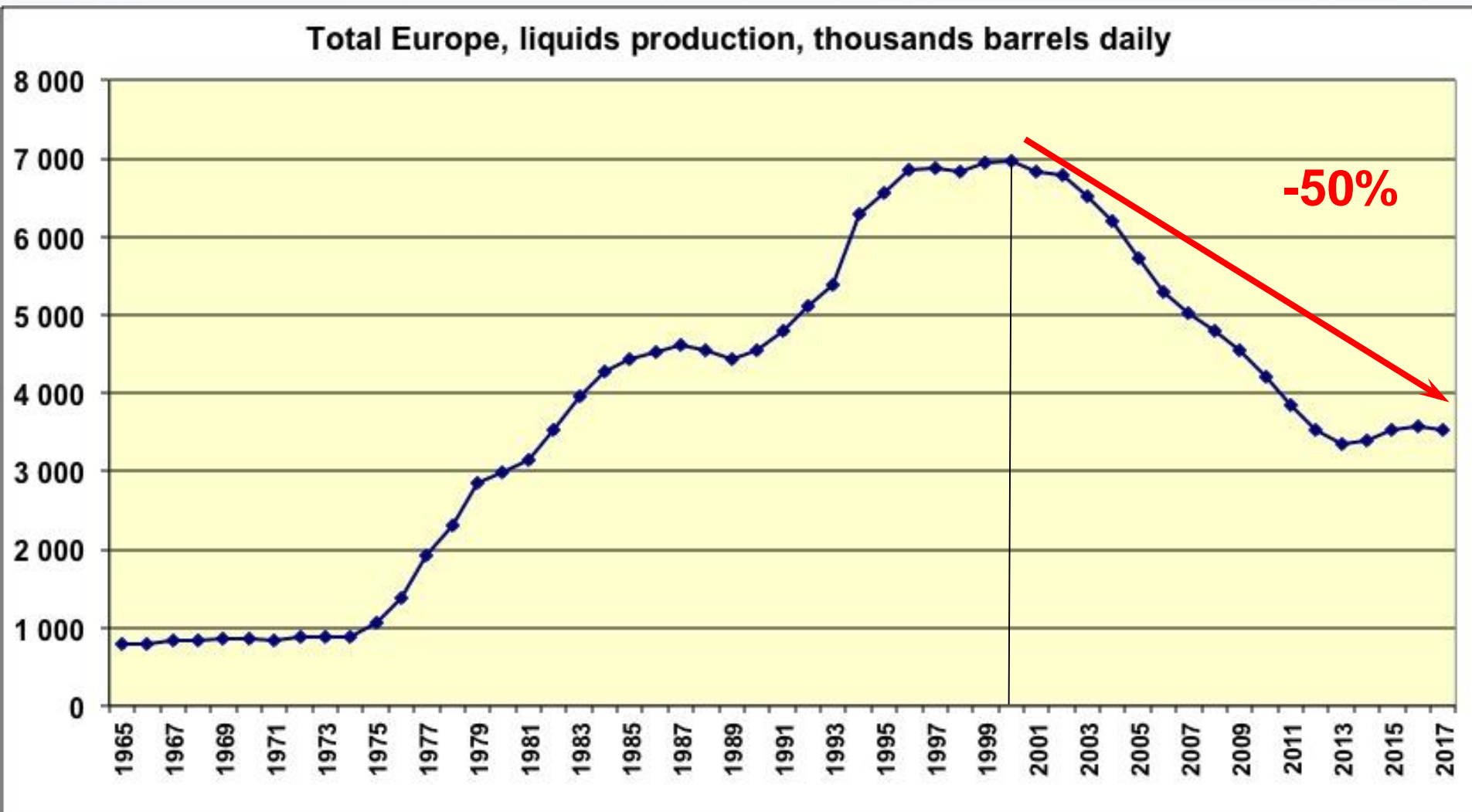


Production de pétrole au Venezuela ($\approx 3\%$ de la production mondiale), en milliers de barils/jour. Source BP Statistical Review, 2018



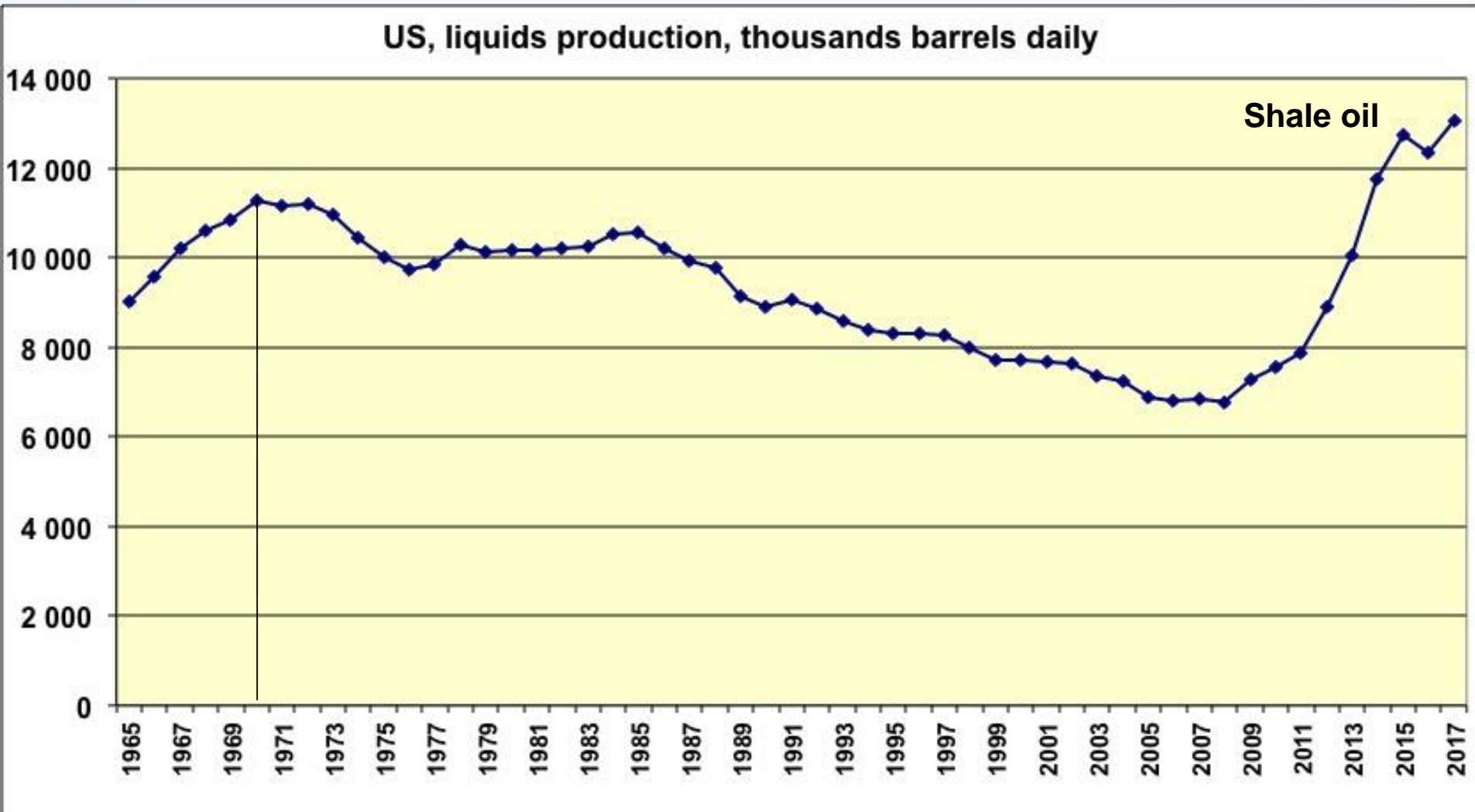
Production de pétrole en Afrique ($\approx 9\%$ de la production mondiale), en milliers de barils/jour. Source BP Statistical Review, 2018

Au grand jeu du pic, les Européens sont excellents



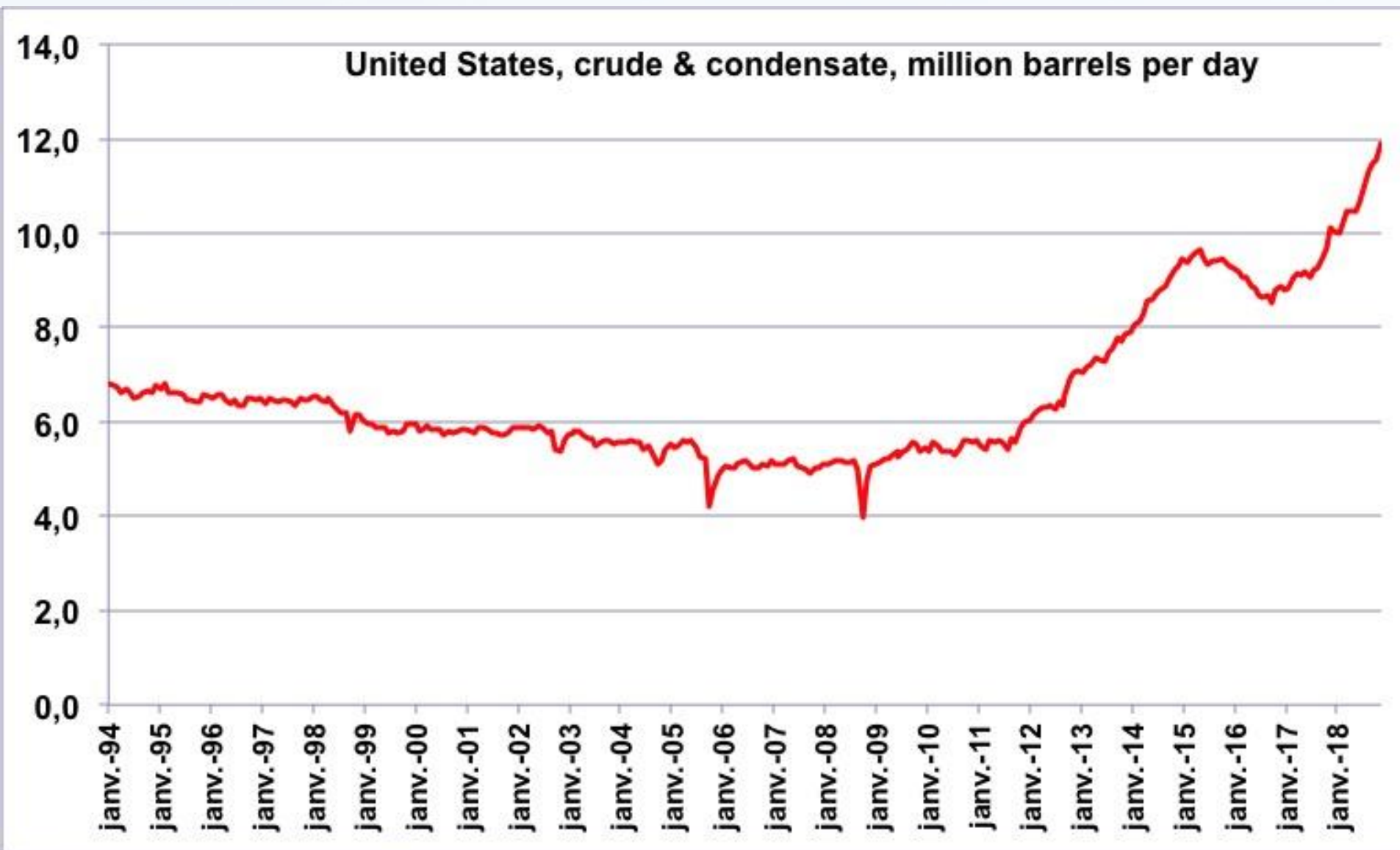
Production de pétrole en Europe ($\approx 4\%$ de la production mondiale), en milliers de barils/jour. Source BP Statistical Review, 2018

Le pic, une réalité qui se combat ?



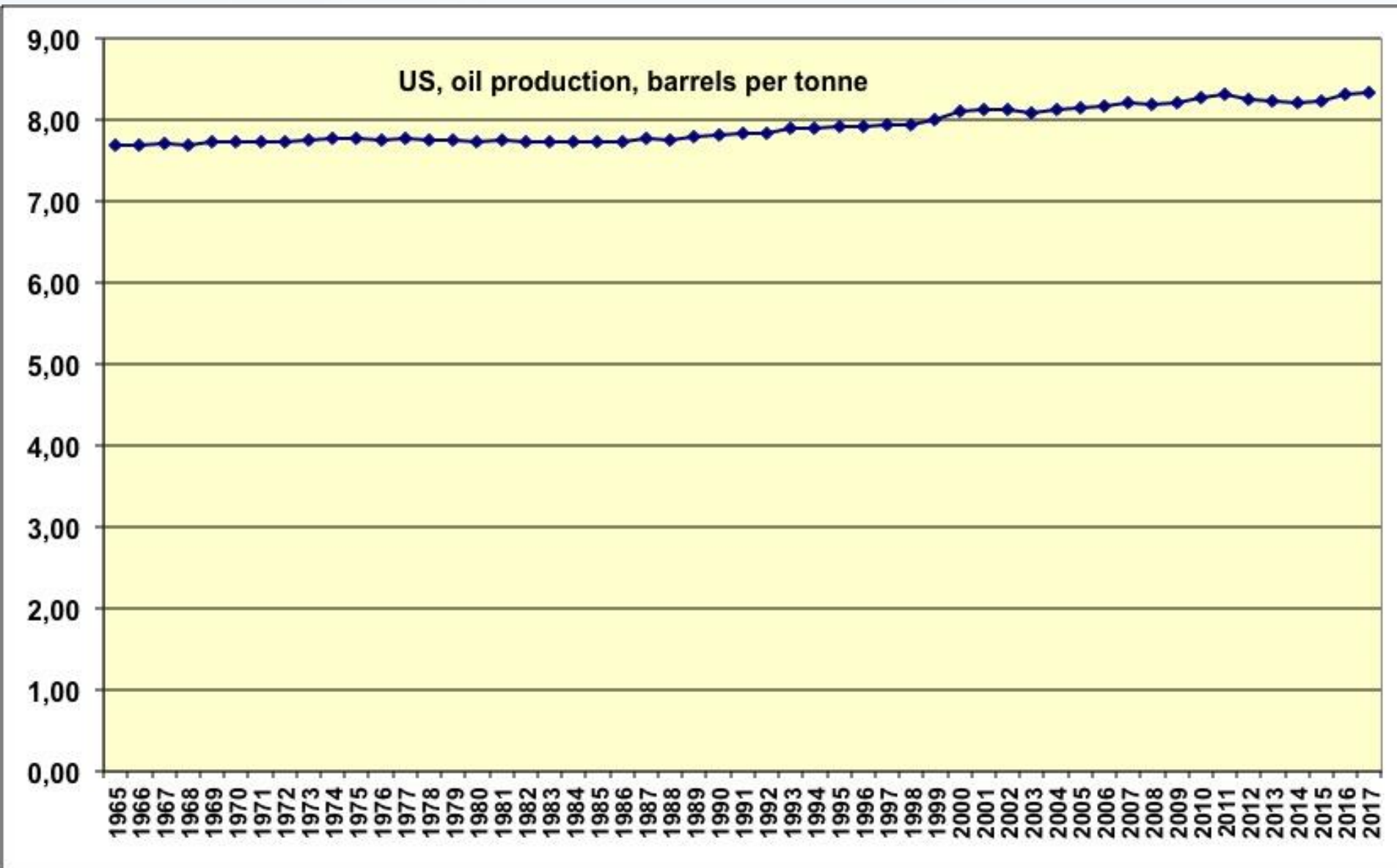
Production de pétrole aux USA ($\approx 14\%$ de la production mondiale), en milliers de barils/jour. Source BP Statistical Review, 2018

Un petit coup de microscope



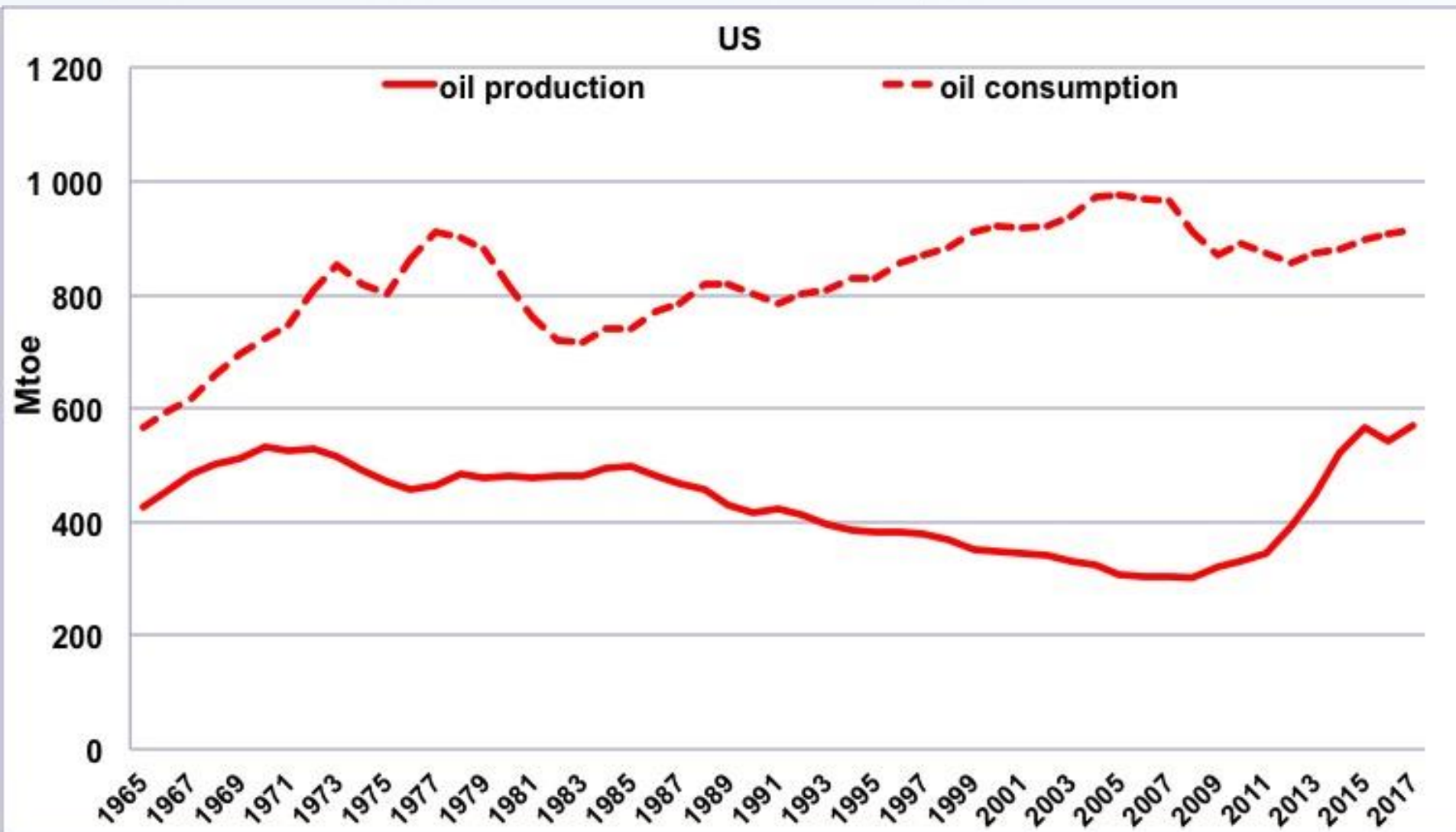
Production de pétrole + condensats aux USA, en millions de barils/jour. Source Energy Information Agency, 2019

Mais le baril, ça pèse toujours la même chose ?



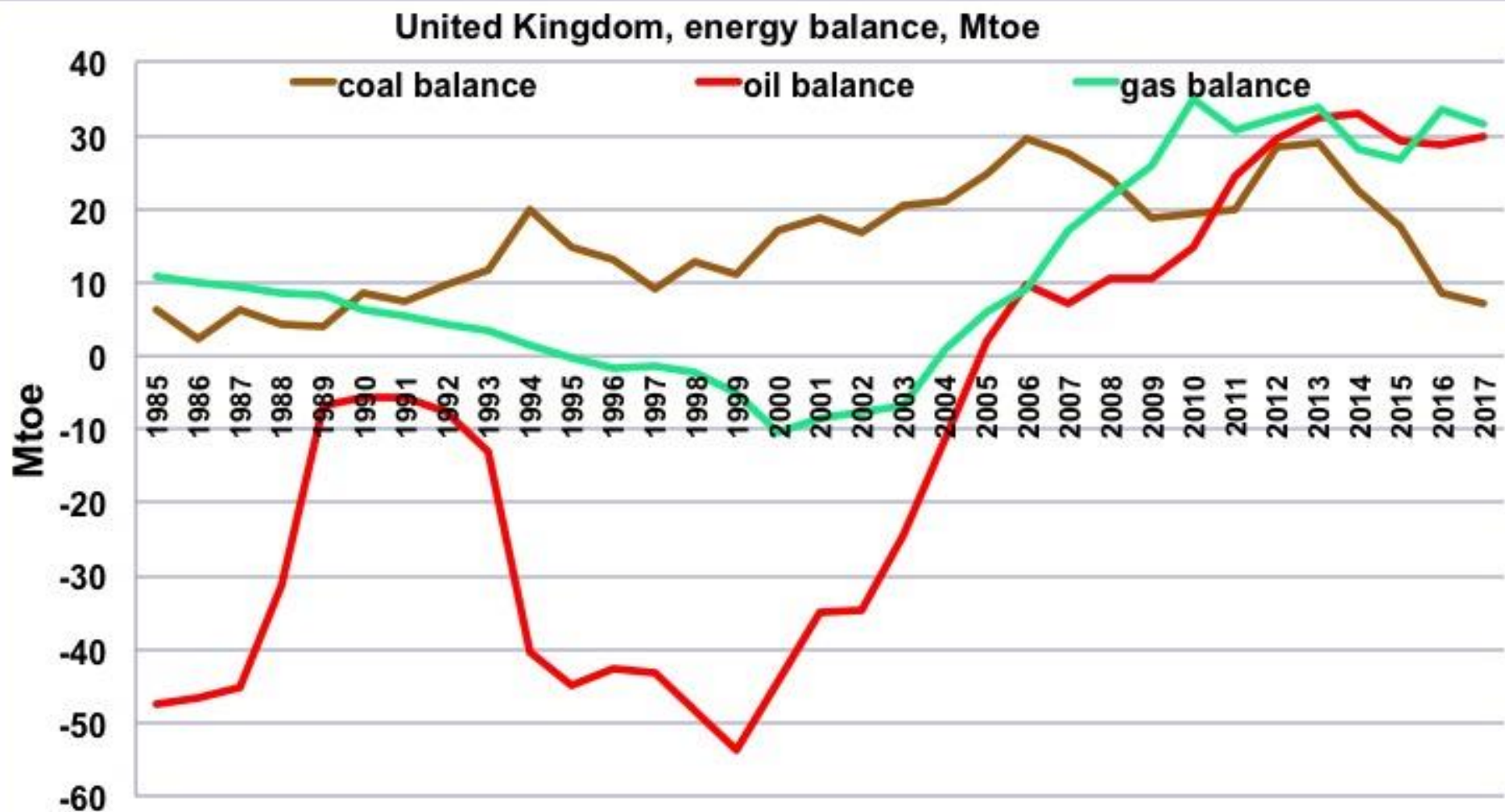
Nombre de barils pour faire une tonne de pétrole aux USA. Calculs Jancovici sur données BP Statistical Review, 2018

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



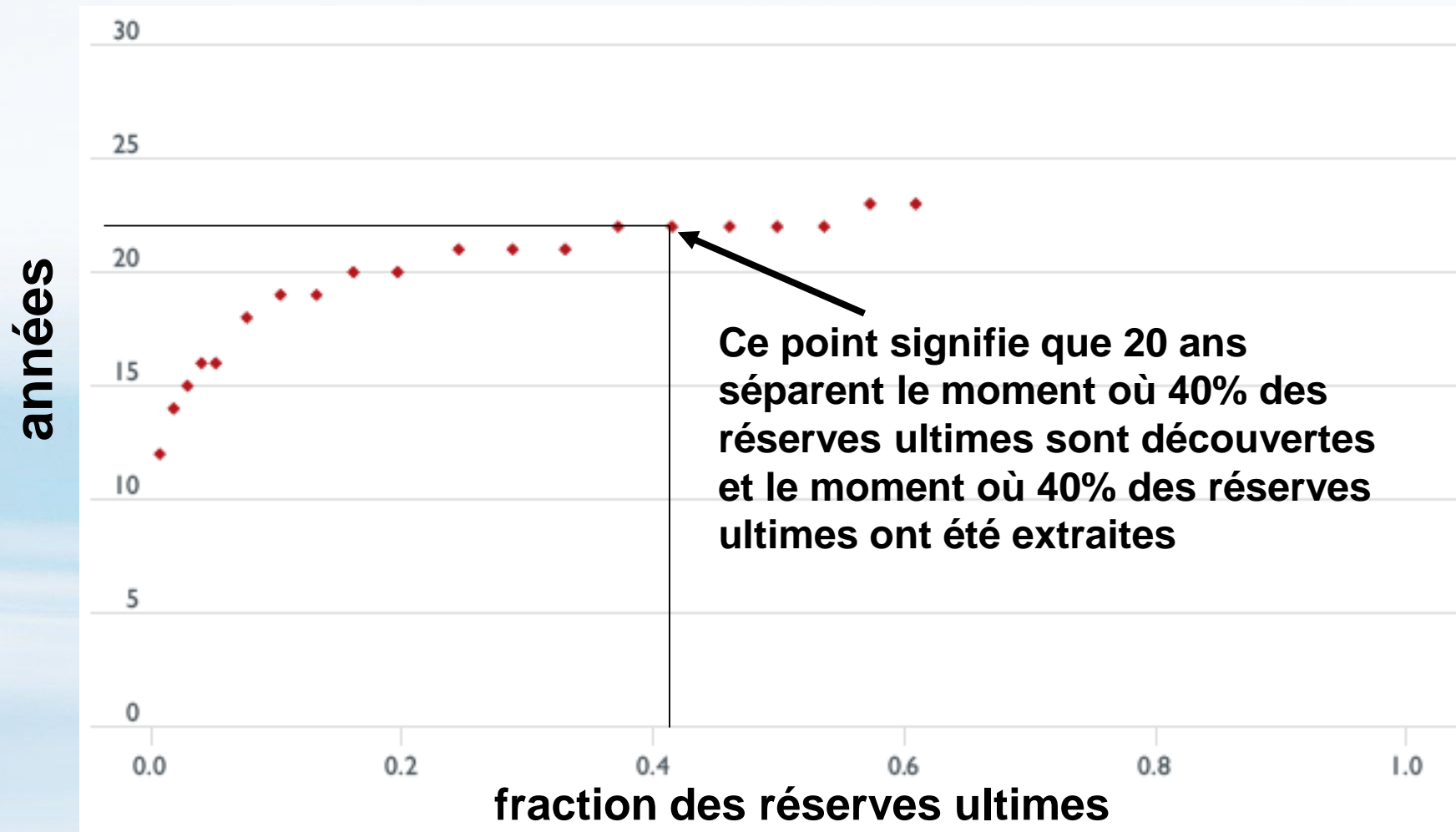
Consommation et production de liquides aux USA, en millions de tonnes par an.
Données BP Statistical Review, 2018

On peut exporter puis importer ailleurs que dans le pétrole



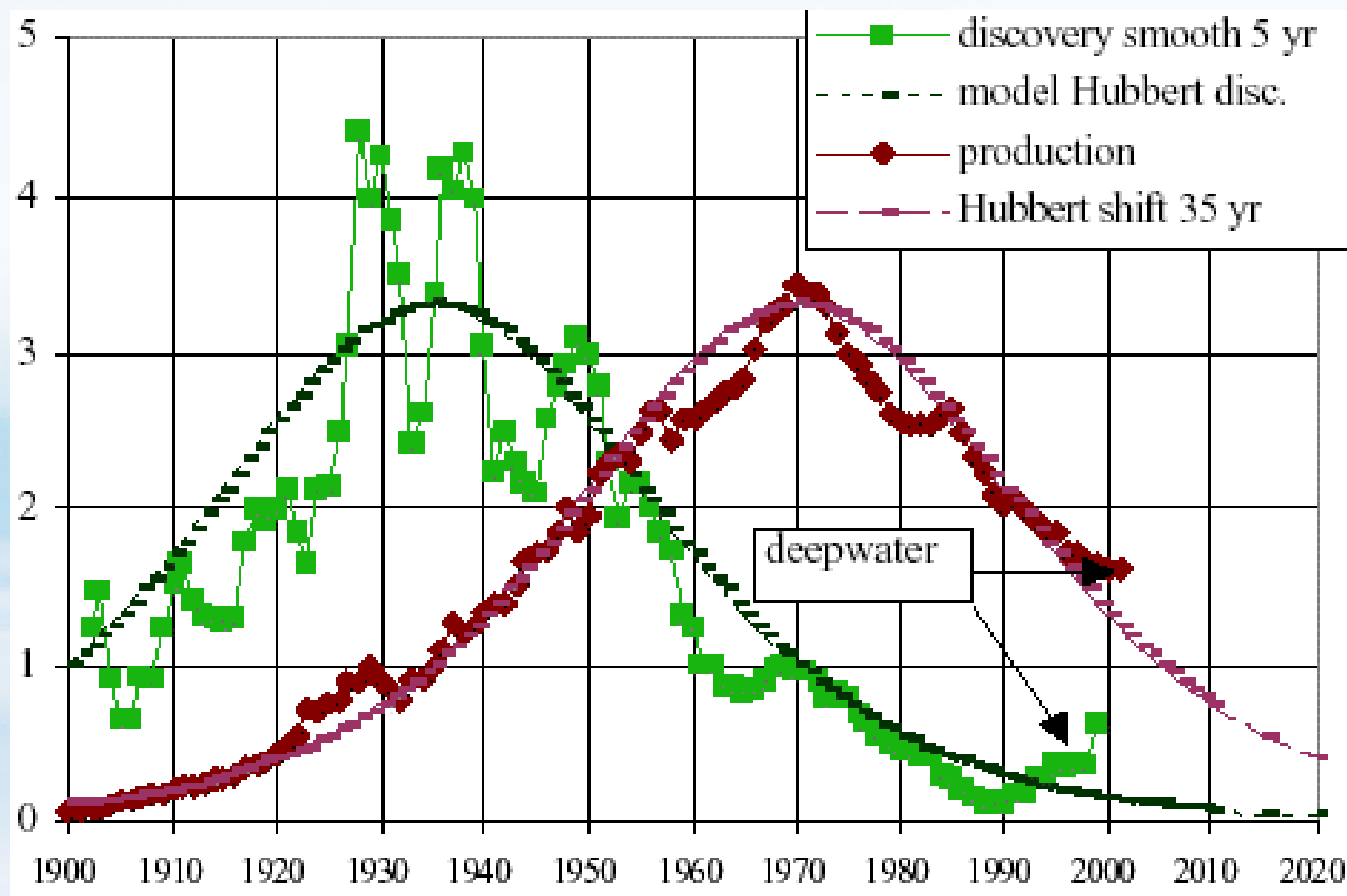
Solde énergétique par énergie fossile en Grande Bretagne, en millions de tonnes équivalent pétrole par an. Données BP Statistical Review, 2018

Des découvertes à la production



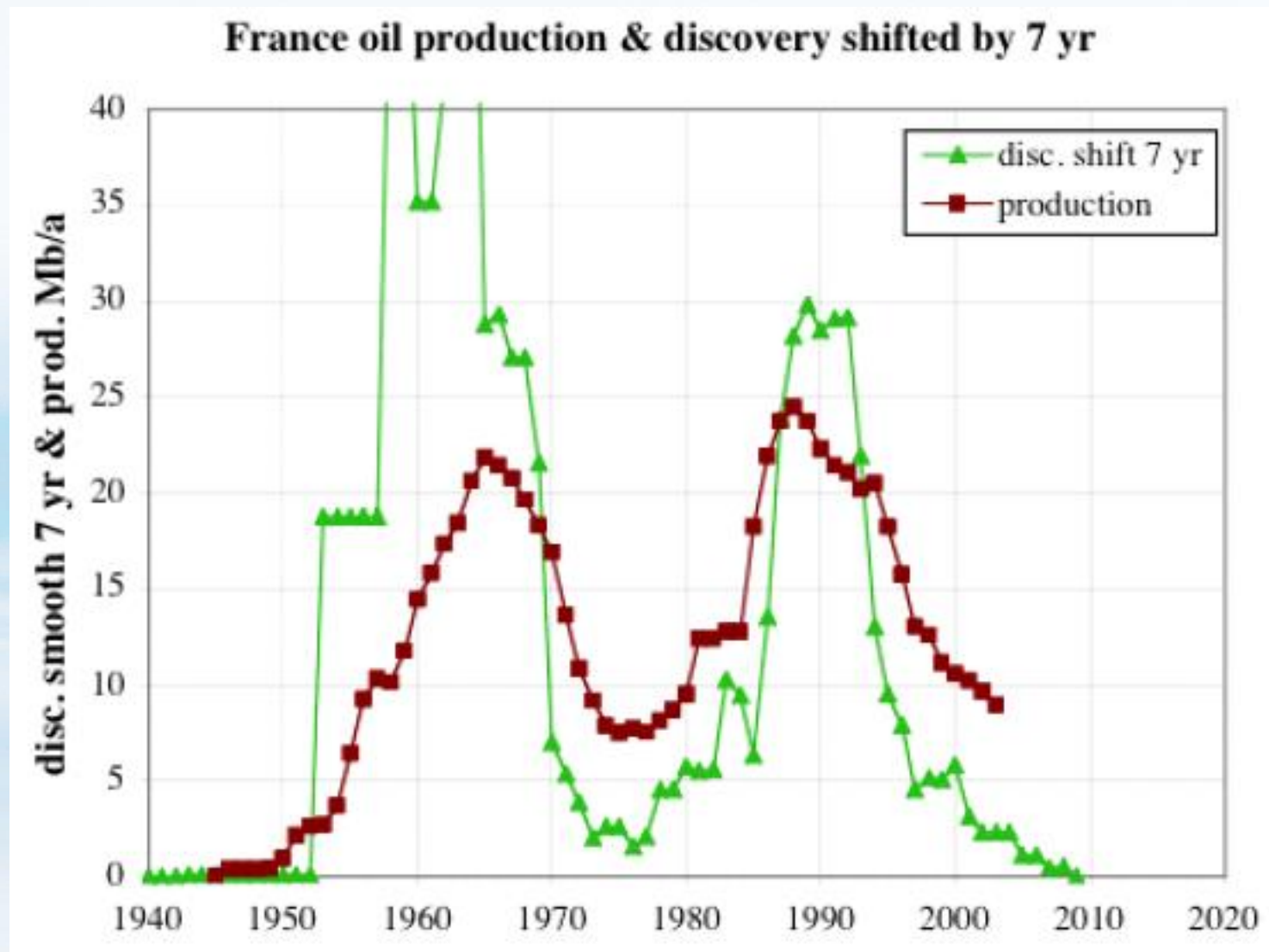
Temps qui sépare la découverte de la production, pour une fraction donnée des réserves ultimes (cas de la Norvège). Source report 117, BITRE, Australian Government, 2009

Découvertes et production se ressemblent souvent



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

En France, peu de pétrole, mais deux pics !



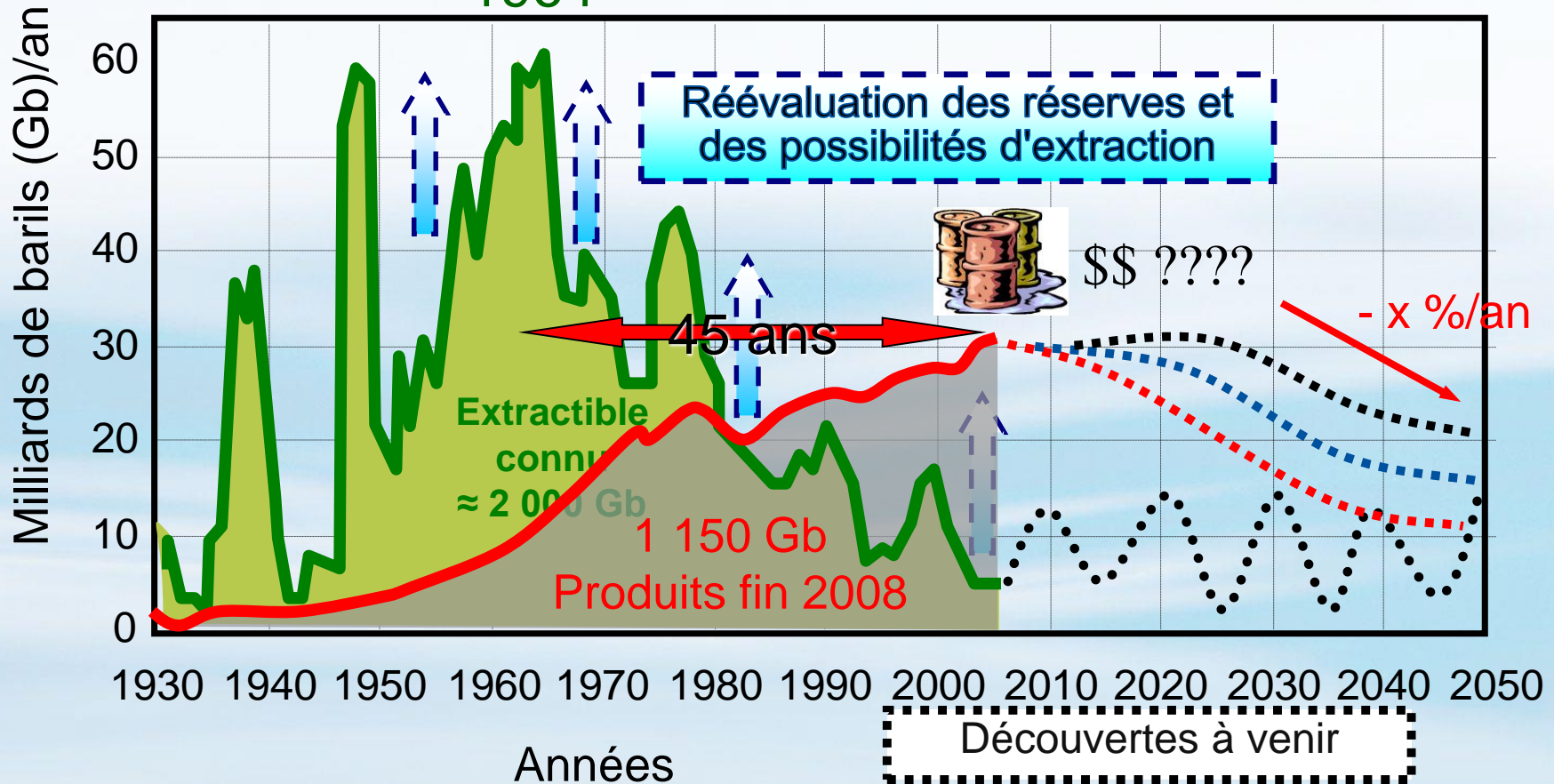
Découvertes décalées de 7 ans et production en France. Source Laherrère

Des idées et pas de pétrole, voilà le résultat

Découvertes annuelles de pétrole

Production annuelle de pétrole

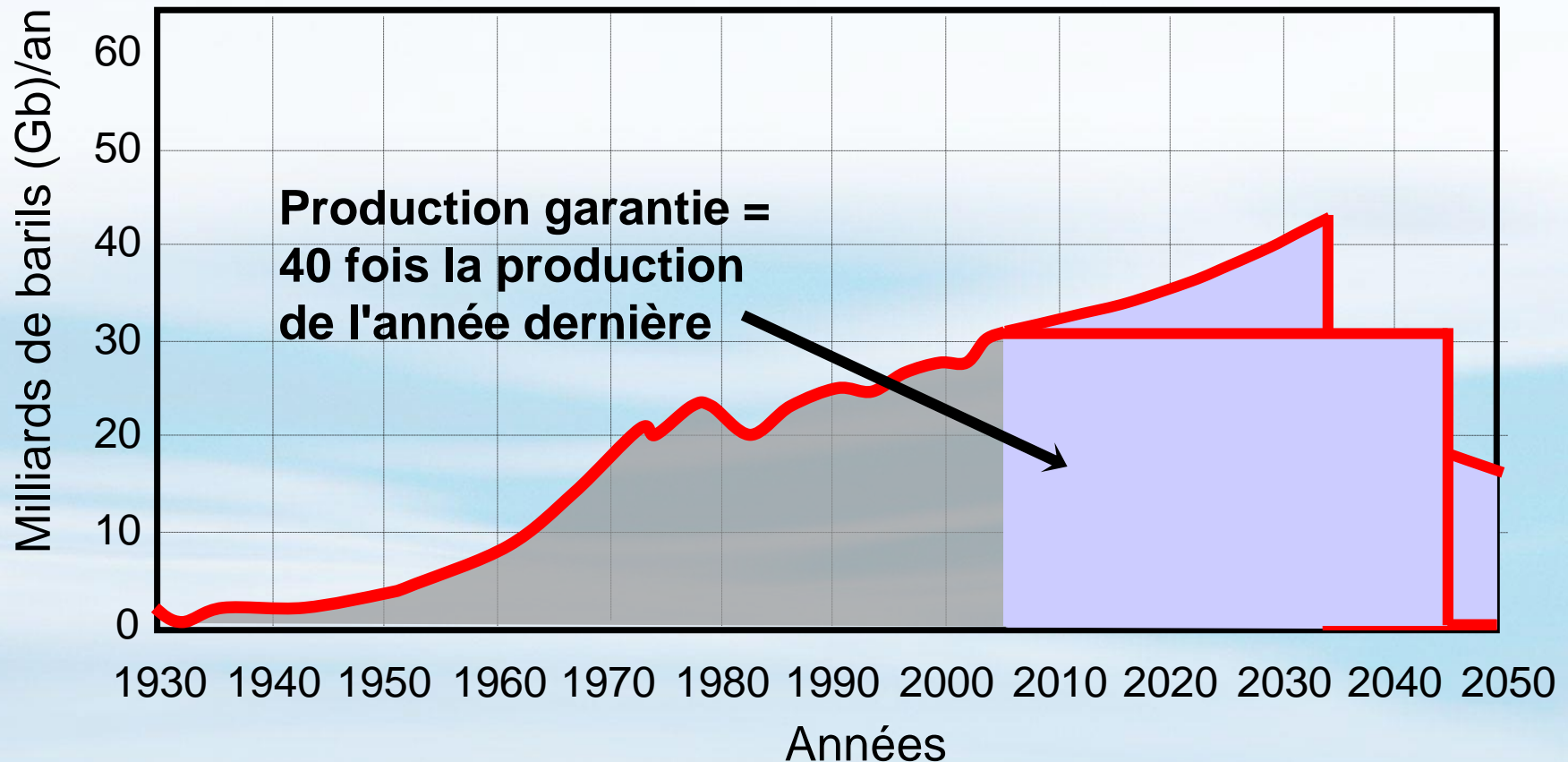
1964



Institut Français du Pétrole, Direction Géologie-Géochimie-Géophysique

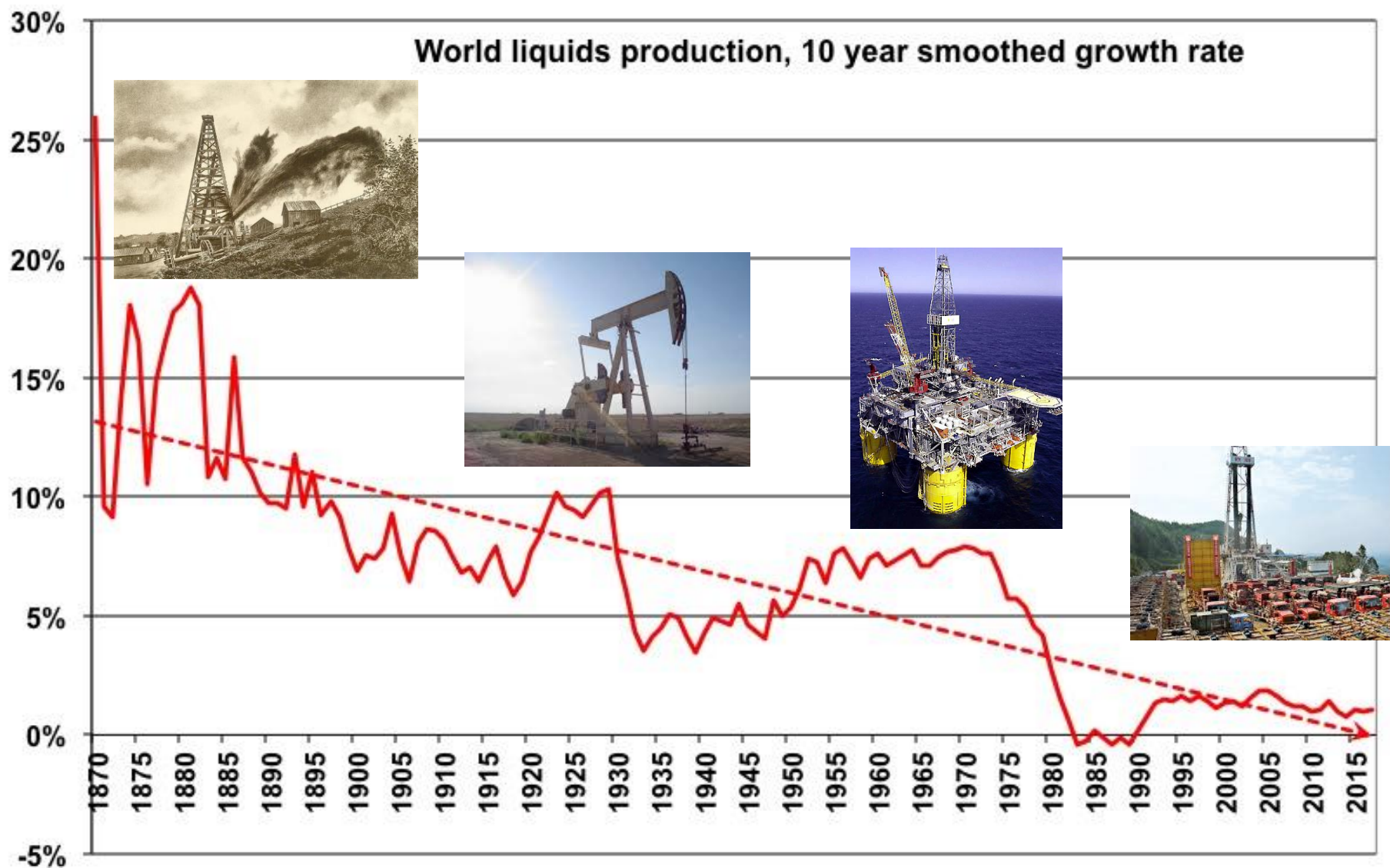
Yves MATHIEU Combloux 2009

**Version très sympathique du pétrole, mais qui ne finit
pas à l'horizon 2050 !**



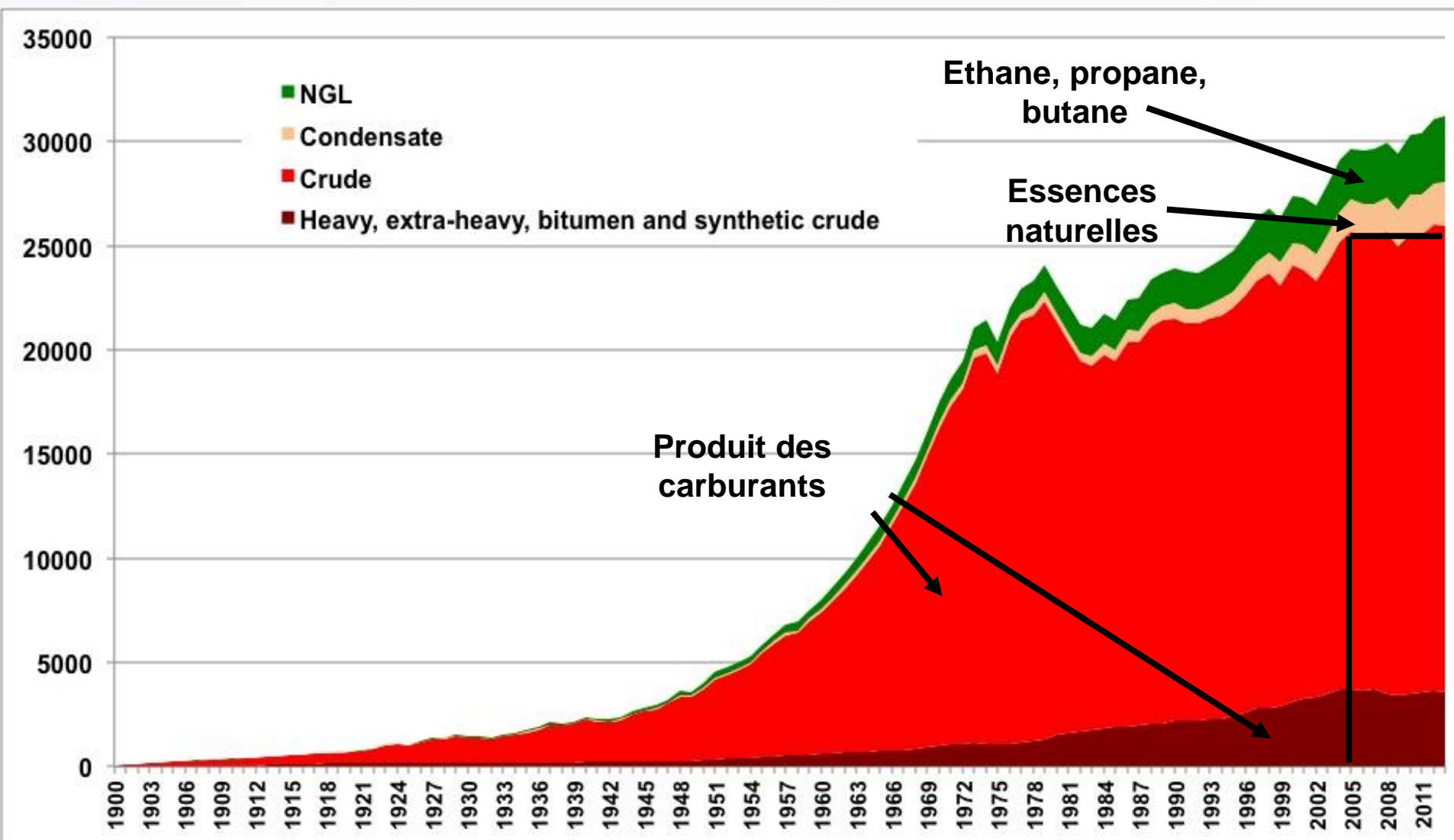
3 manières de voir « 40 ans de pétrole » pour la production future.

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



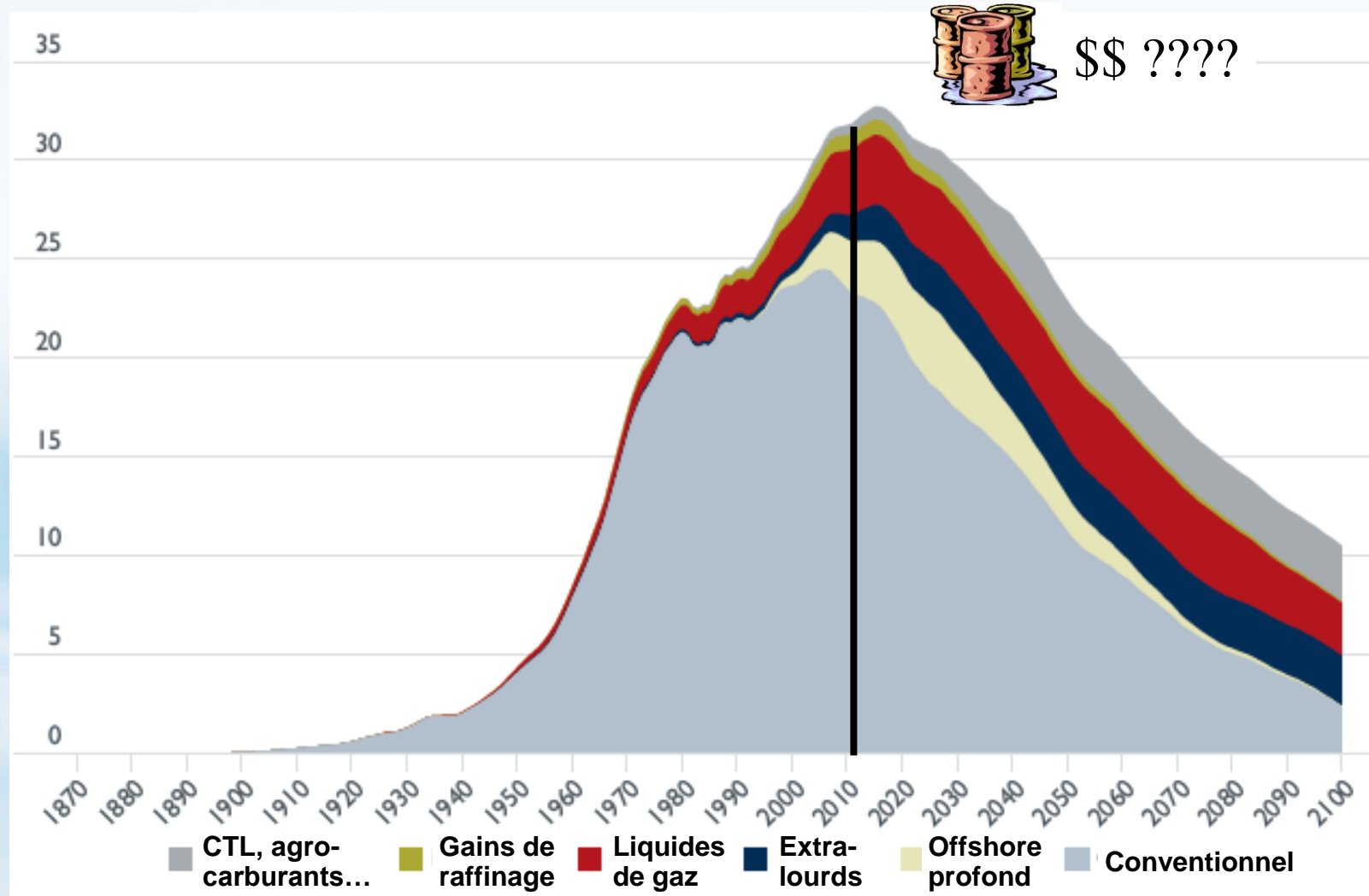
Variation annuelle (moyenne glissante sur 10 ans) de la production mondiale de liquides depuis 1860. Données : Shilling et. al de 1860 à 1965 ; BP Statistical Review 1966 - 2018

Il y a toujours pétrole et pétrole...



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

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

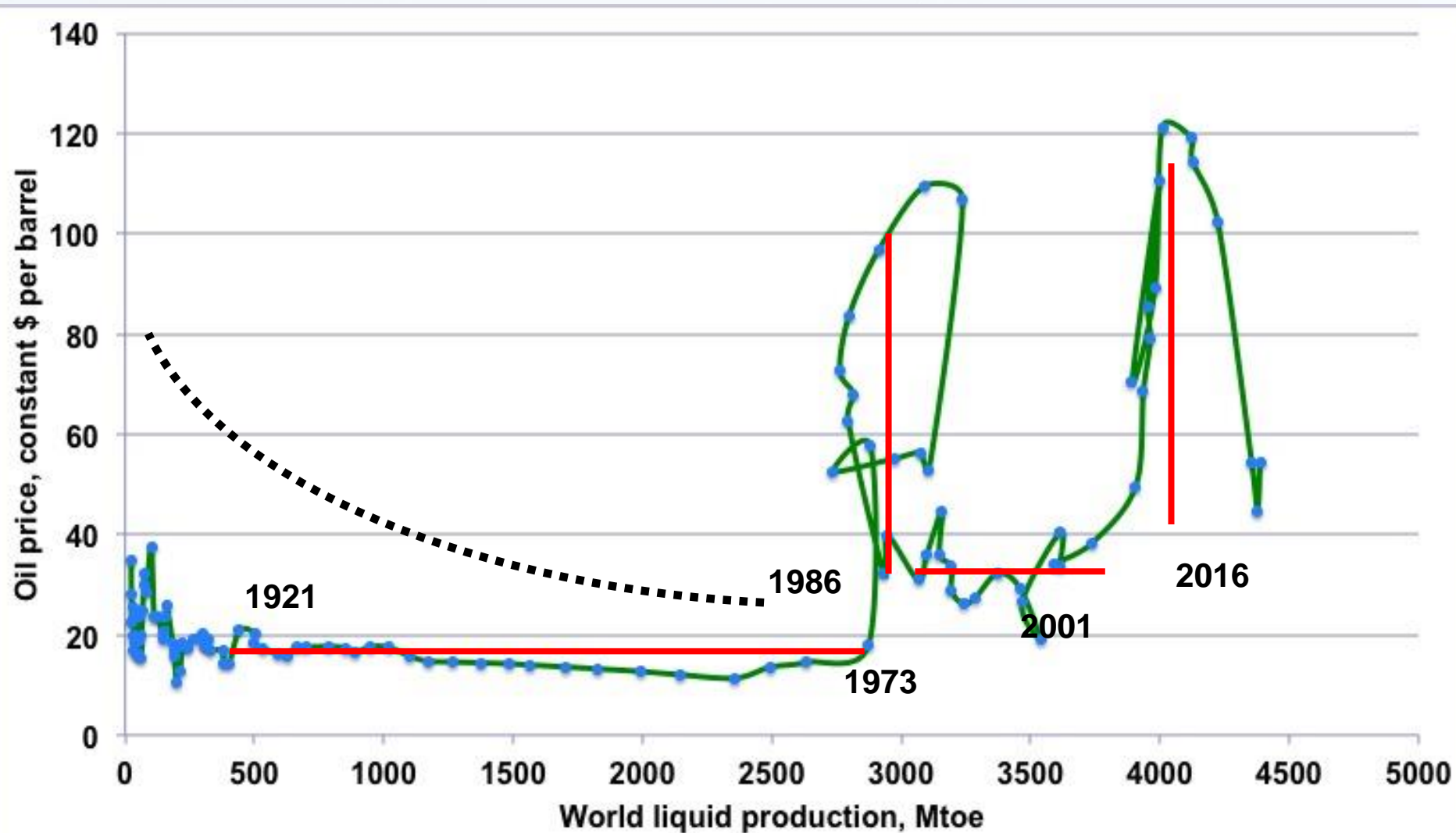
World Energy Outlook 2018



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

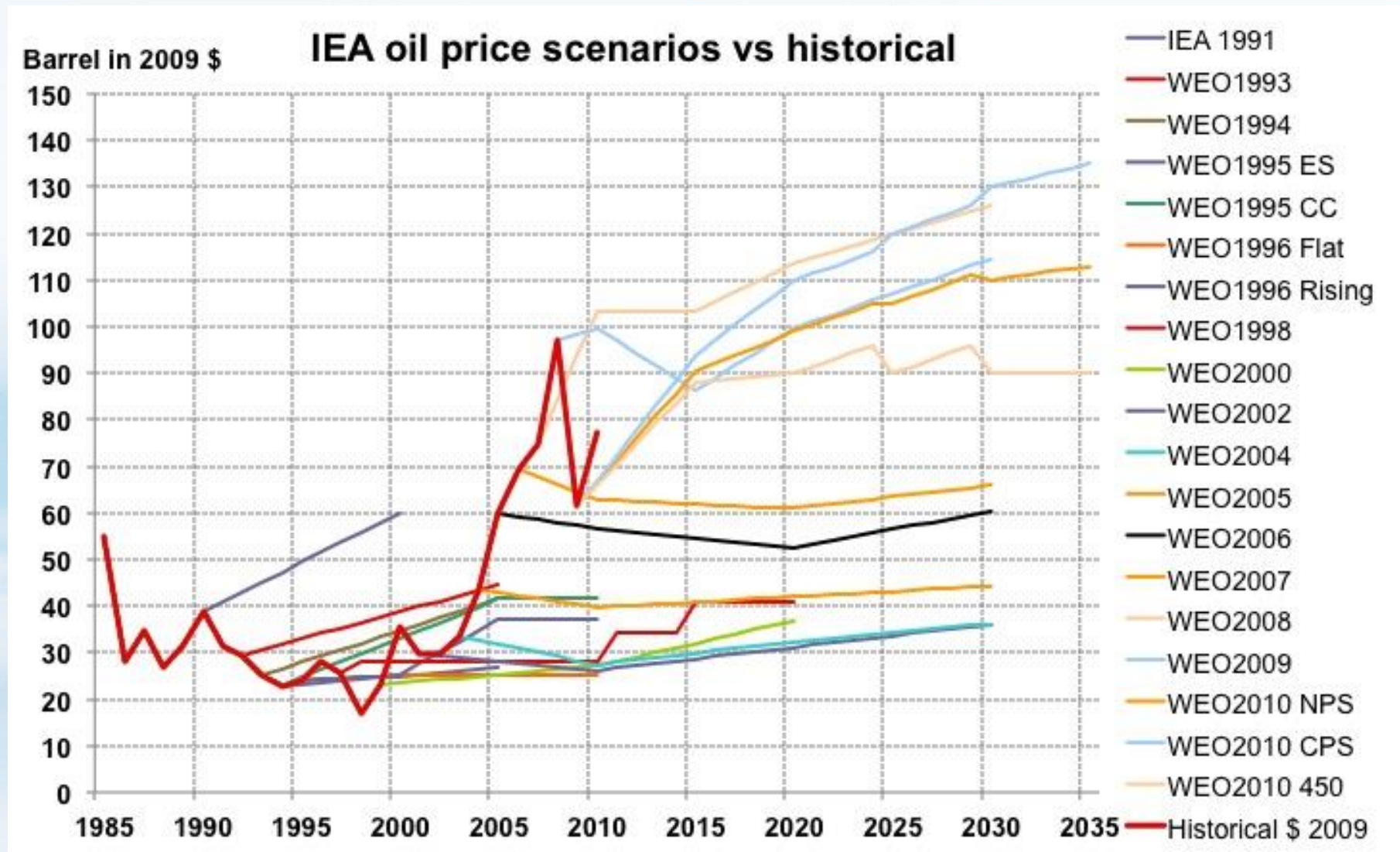
The risk of a supply crunch looms largest in oil. The average level of new conventional crude oil project approvals over the last three years is only half the amount necessary to balance the market out to 2025 (...). US tight oil is unlikely to pick up the slack on its own. (...) US tight oil (...) would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

Le prix du pétrole est-il élastique ?



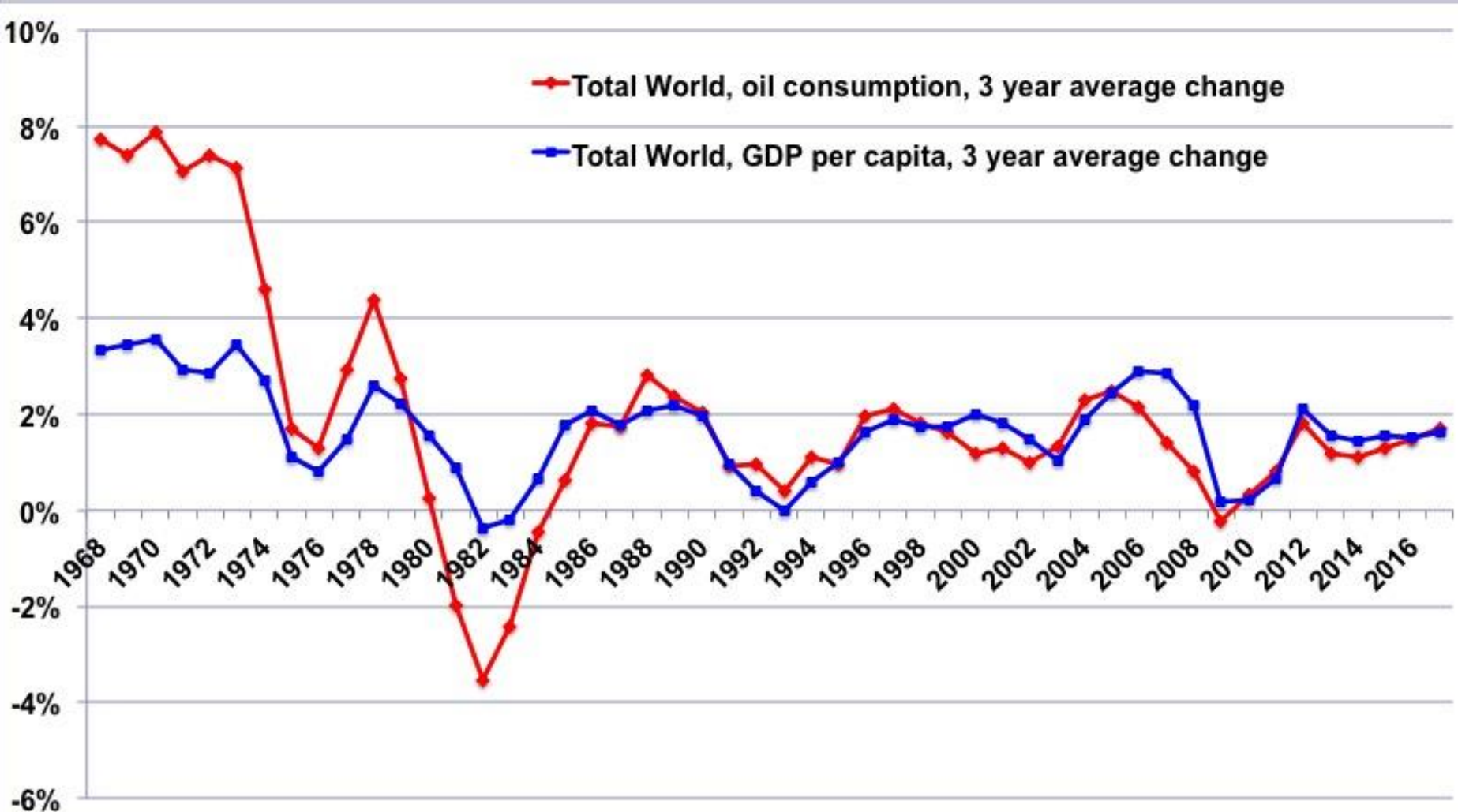
Prix du baril (en abscisse) vs. PIB en dollars constants (ordonnée) de 1921 à 2017.
Jancovici, 2018, sur données BP Statistical Review

Il vaut mieux prévoir le prix passé que le prix futur



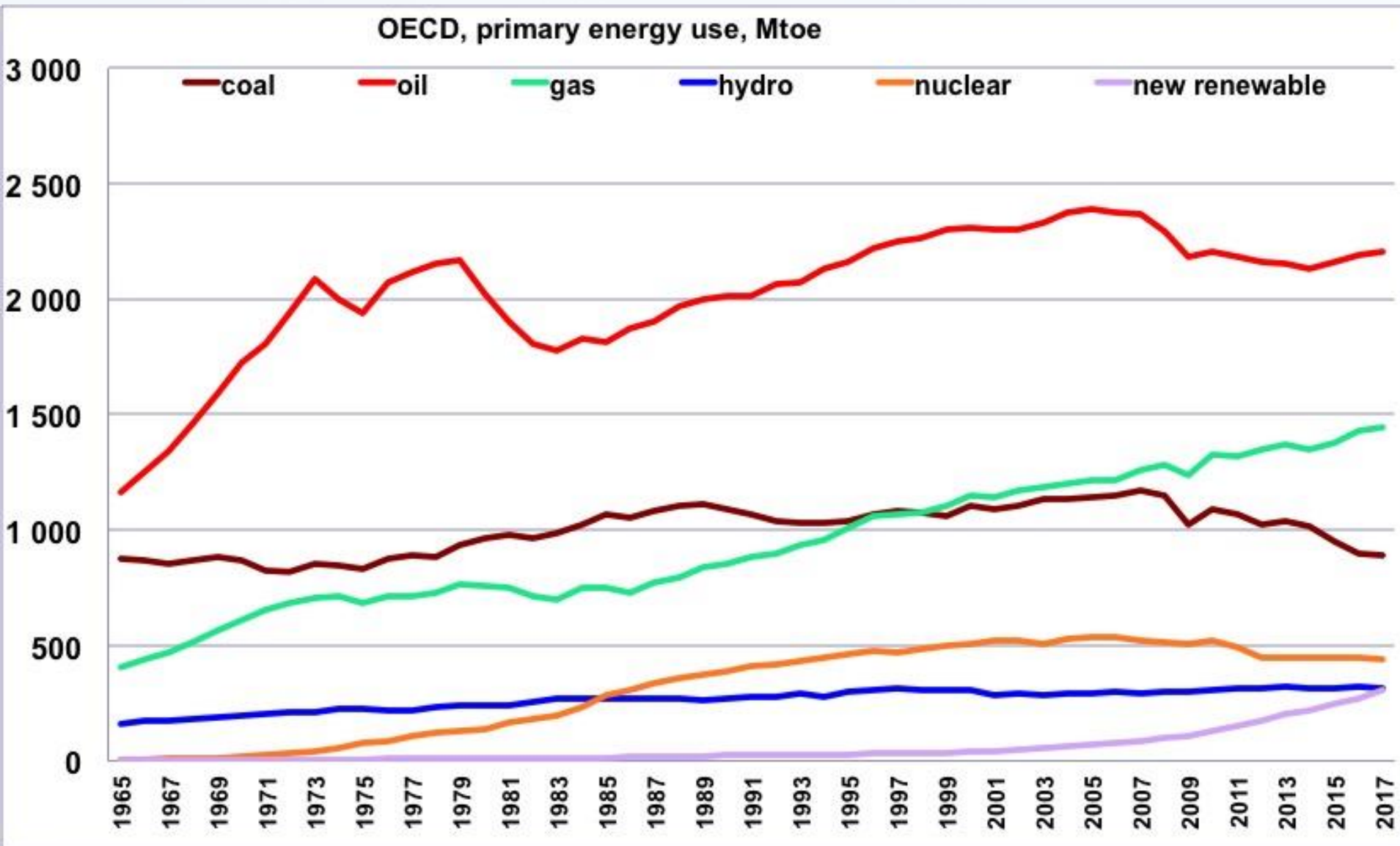
Prix réel du baril en \$ de 2009 et prévisions de prix de l'AIE effectuée pendant les années 1991 à 2010. Source Carbone 4

Puis-je avoir de l'économie sans pétrole ?



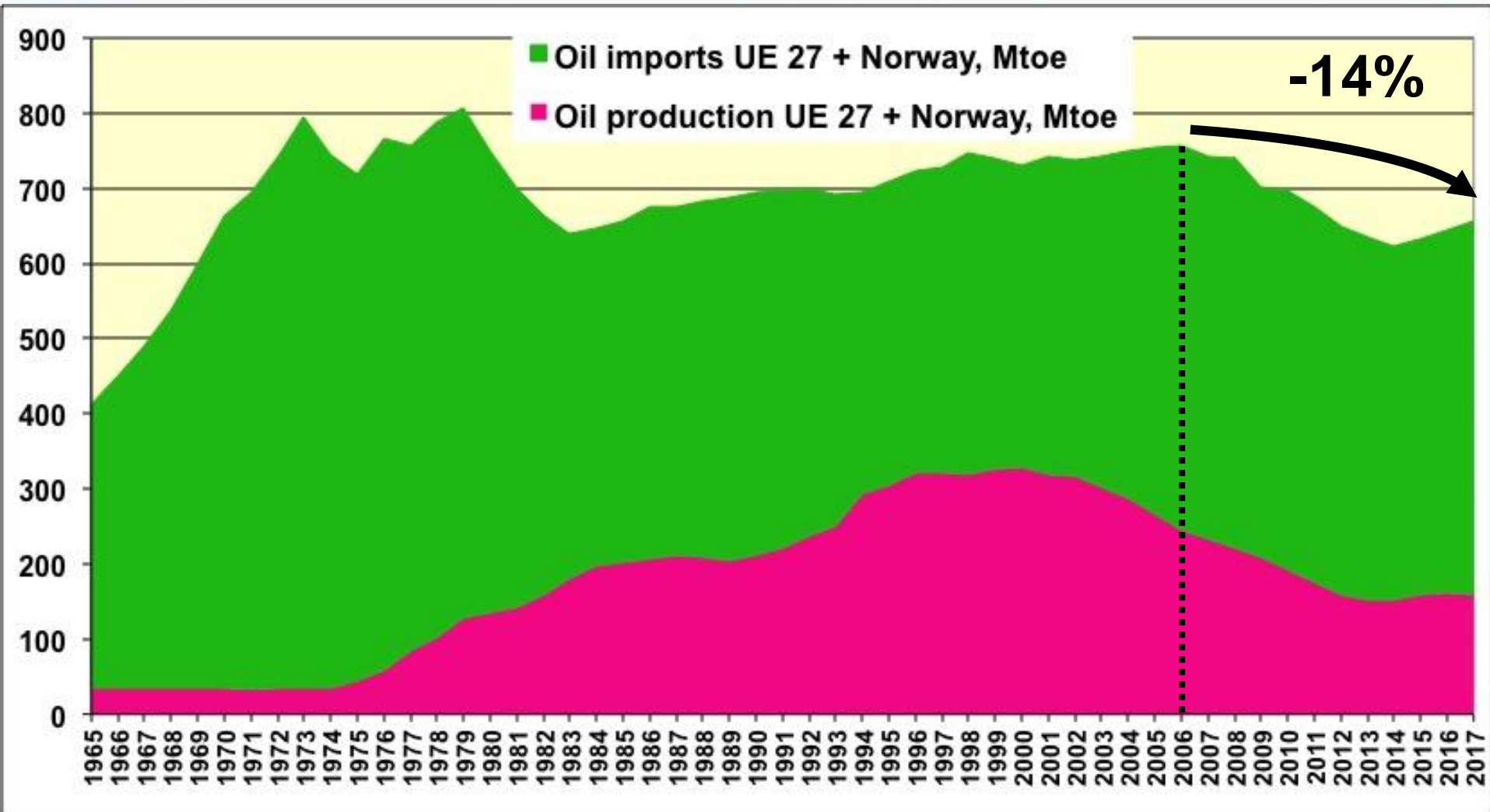
Variation de la production mondiale de pétrole (moyenne glissante sur 3 ans, source BP Statistical Review 2018) et du PIB par personne en dollars constants (moyenne glissante sur 3 ans, source World Bank 2018)

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



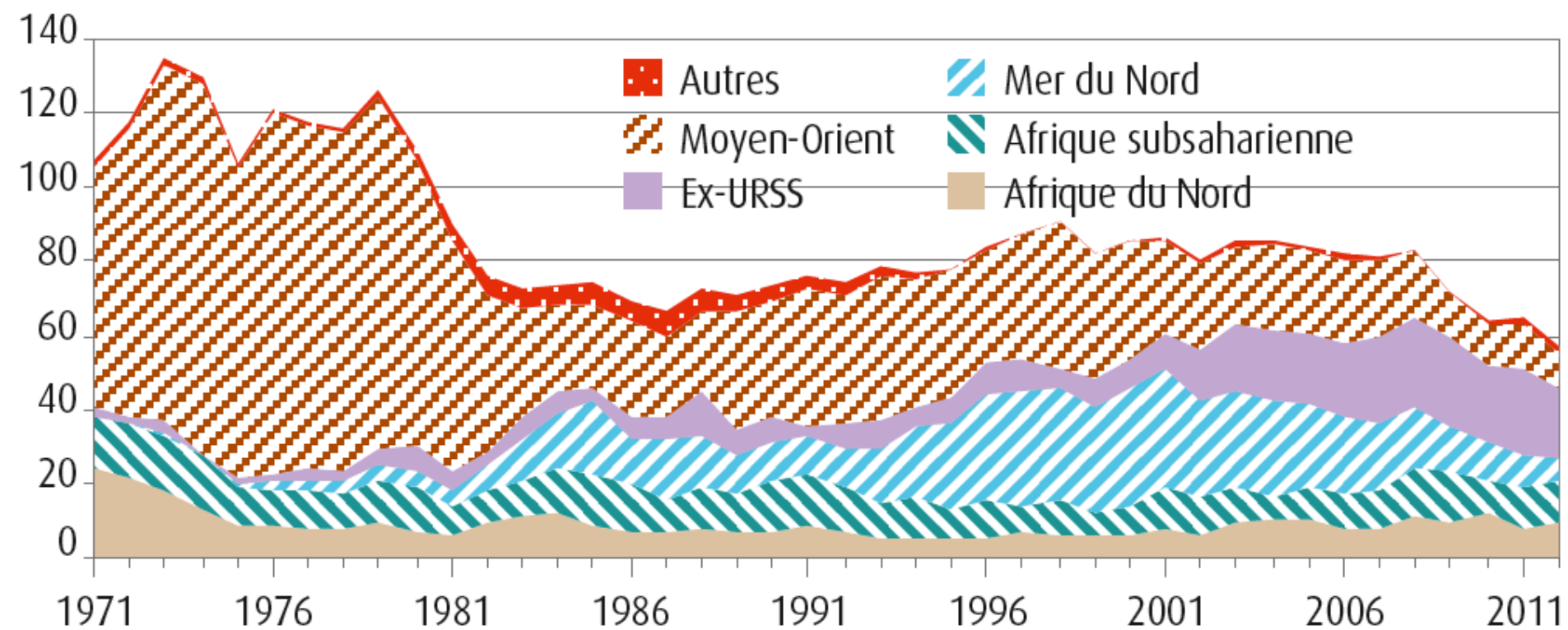
Consommation d'énergie de l'OCDE depuis 1965. Données PB Statistical Review, 2018

Camionneur en Europe, un métier d'avenir ?



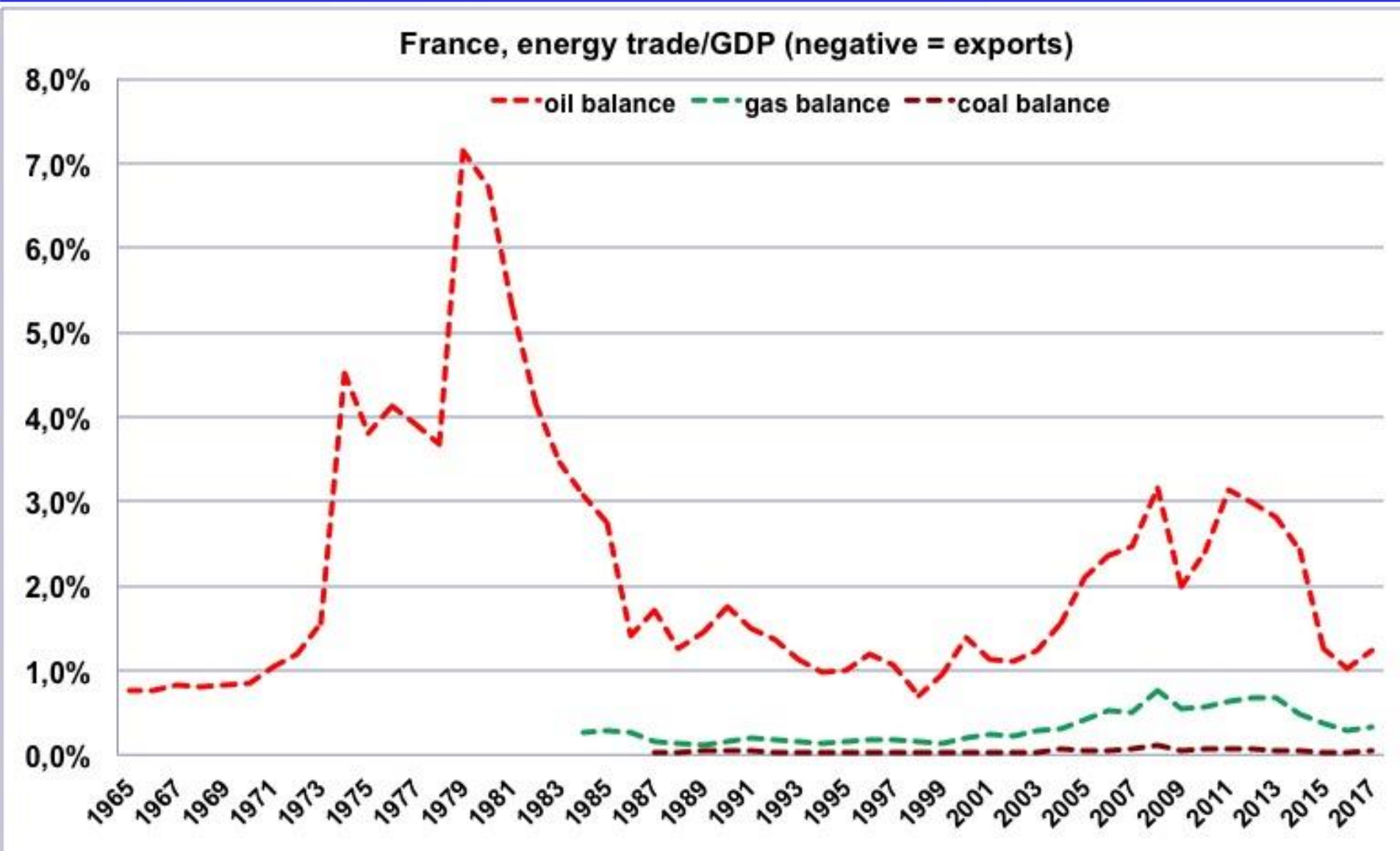
Approvisionnement pétrolier de l'Union+Norvège depuis 1965. Jancovici, sur données BP Statistical Review, 2018

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



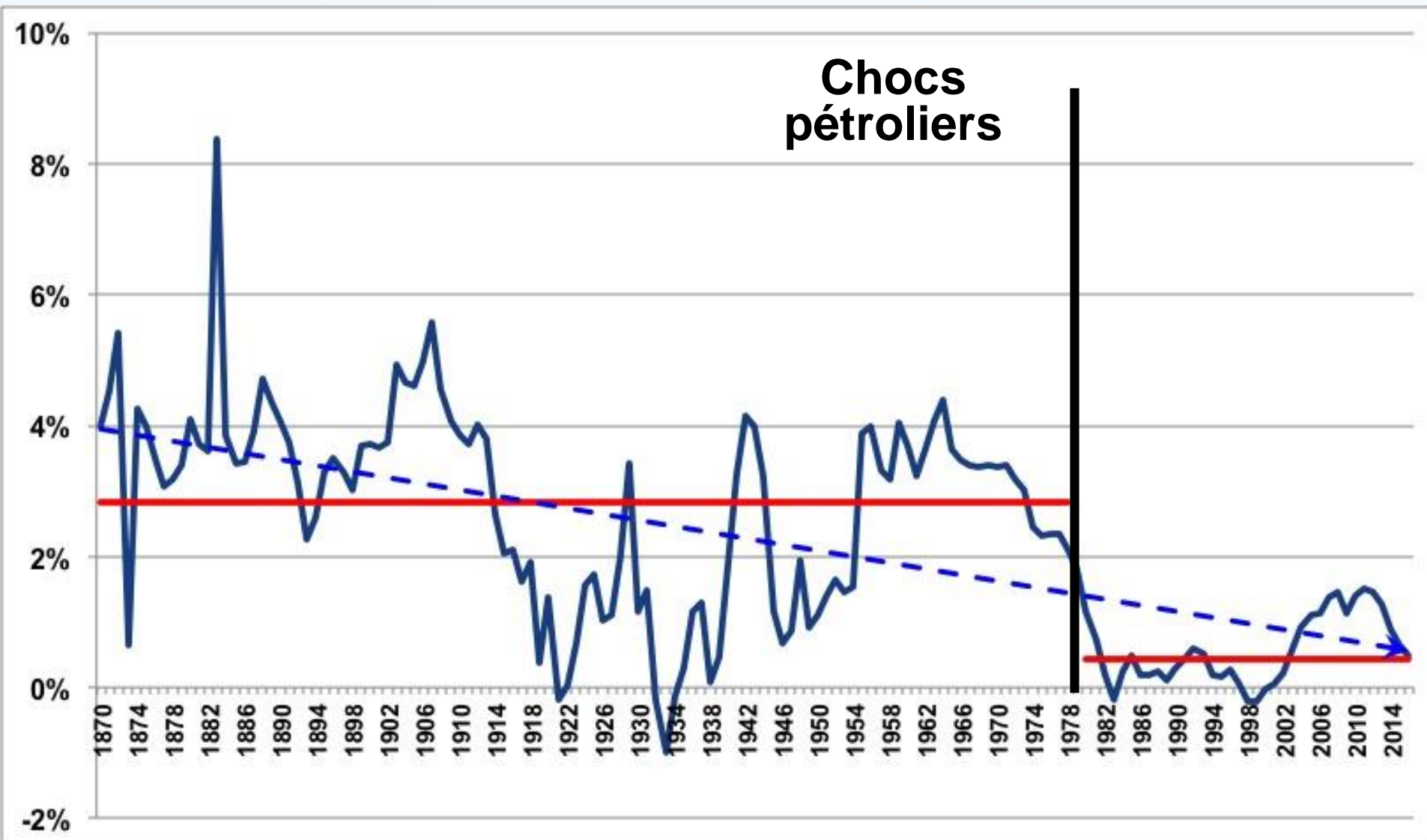
Importations de pétrole en France par zone d'origine. Source SOES 2013

Combien pour mes précieuses énergies fossiles ?



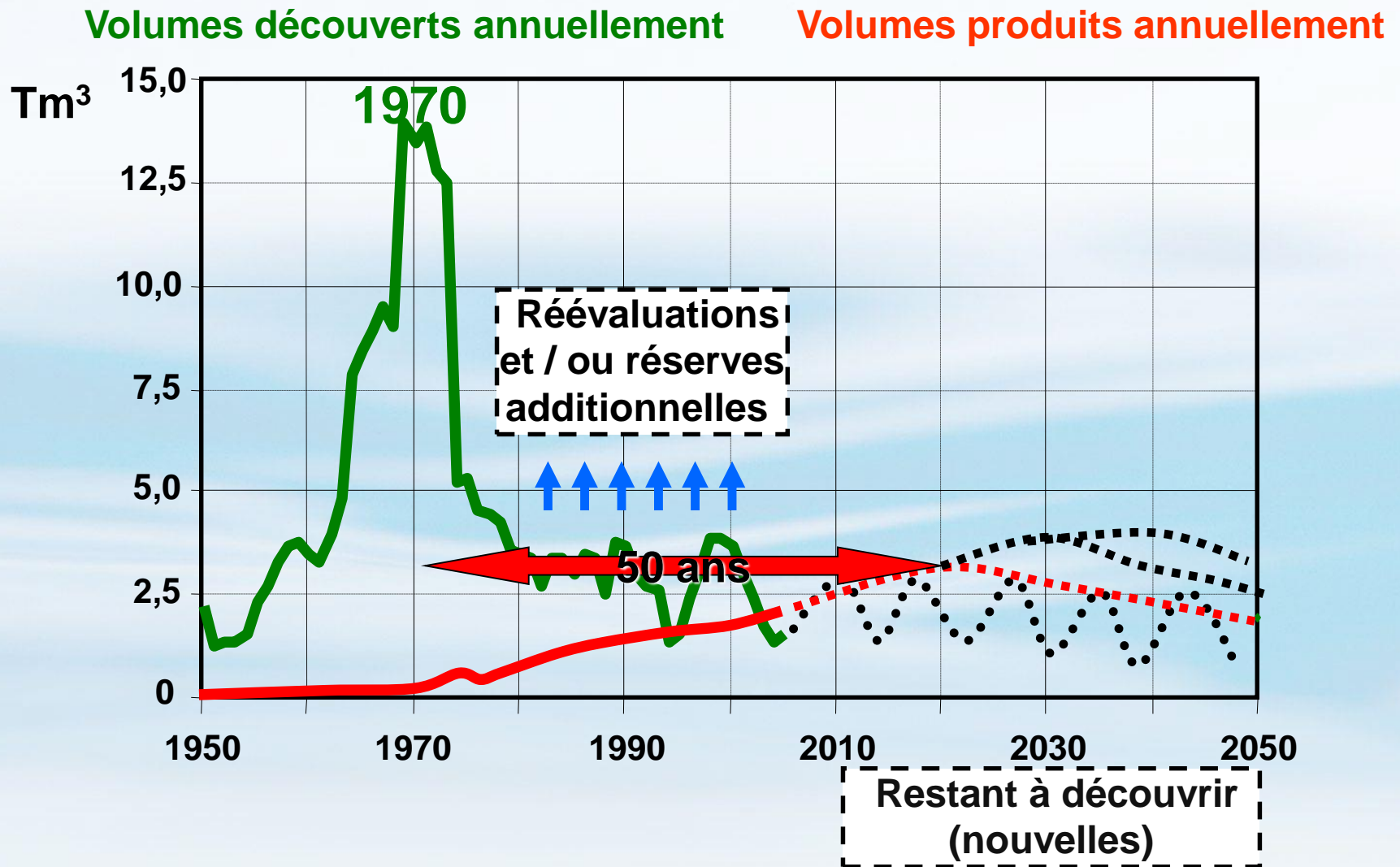
Evolution de la facture pétrolière de la France en % du PIB. Données primaires BP Statistical Review et World Bank, calcul de l'auteur

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

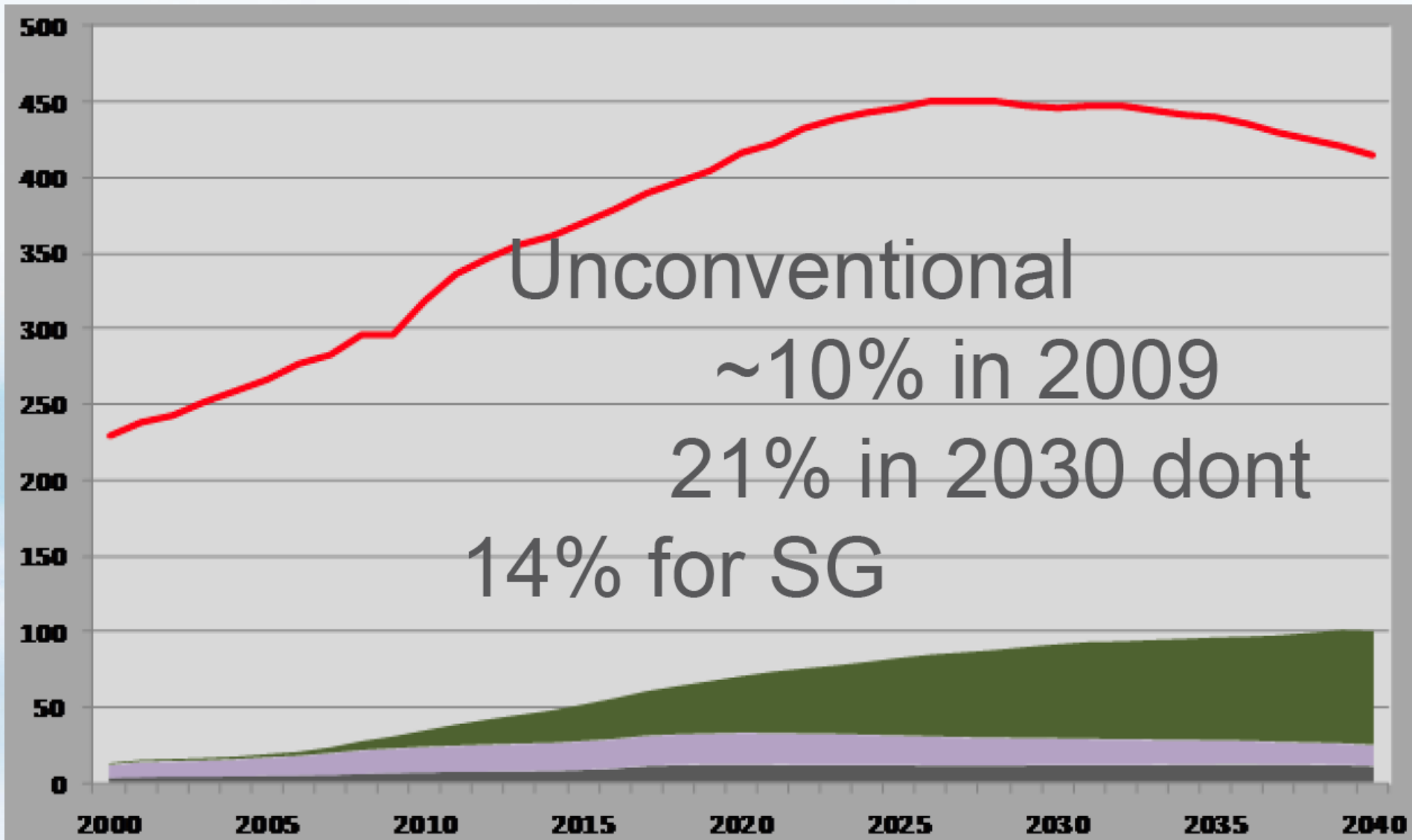
Plus de pétrole ? Mettons les gaz !



Direction Géologie-Géochimie-Géophysique

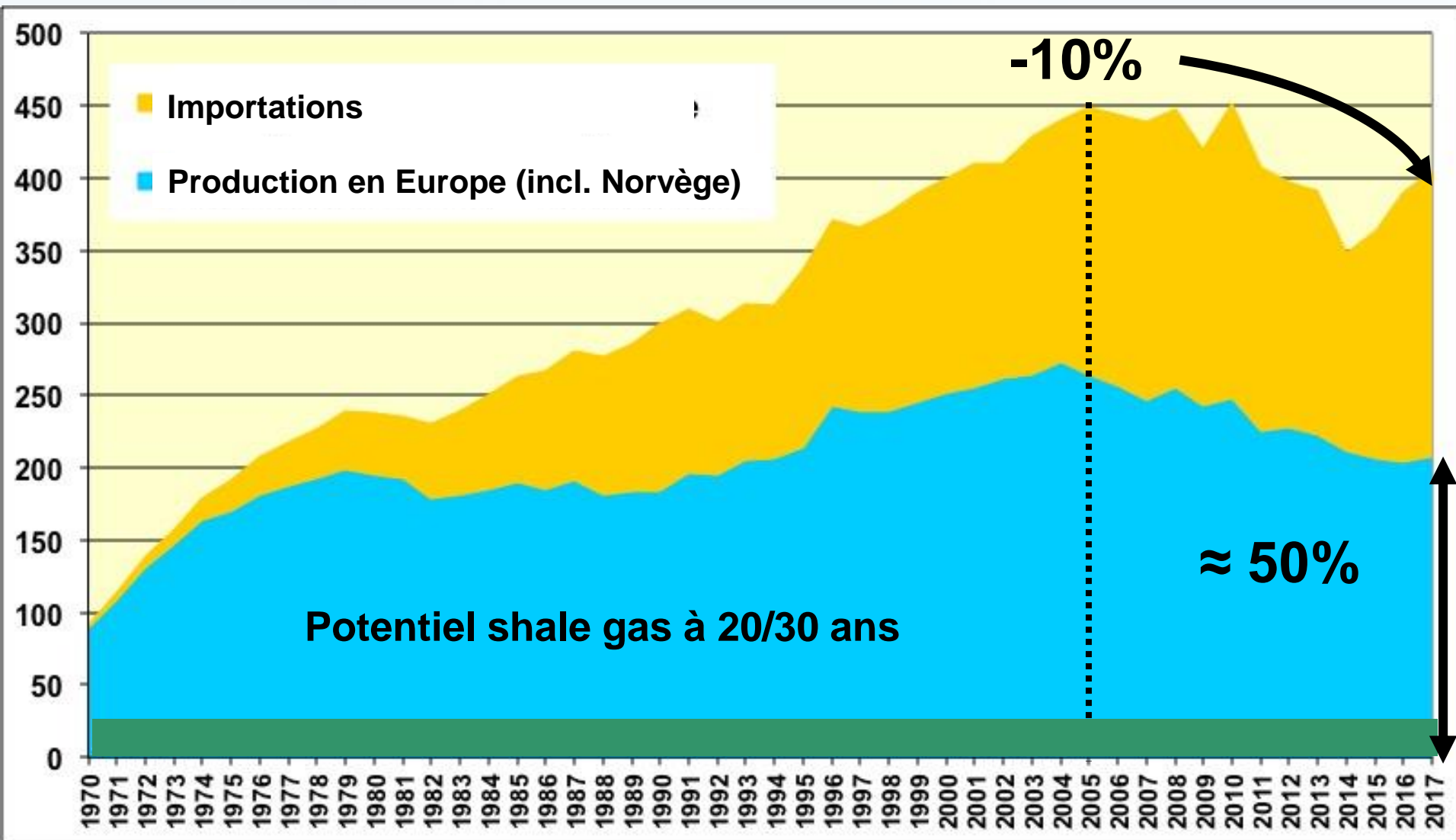
Yves MATHIEU Combloux 2009

Plus de gaz normal ? Sus aux gaz de schiste !



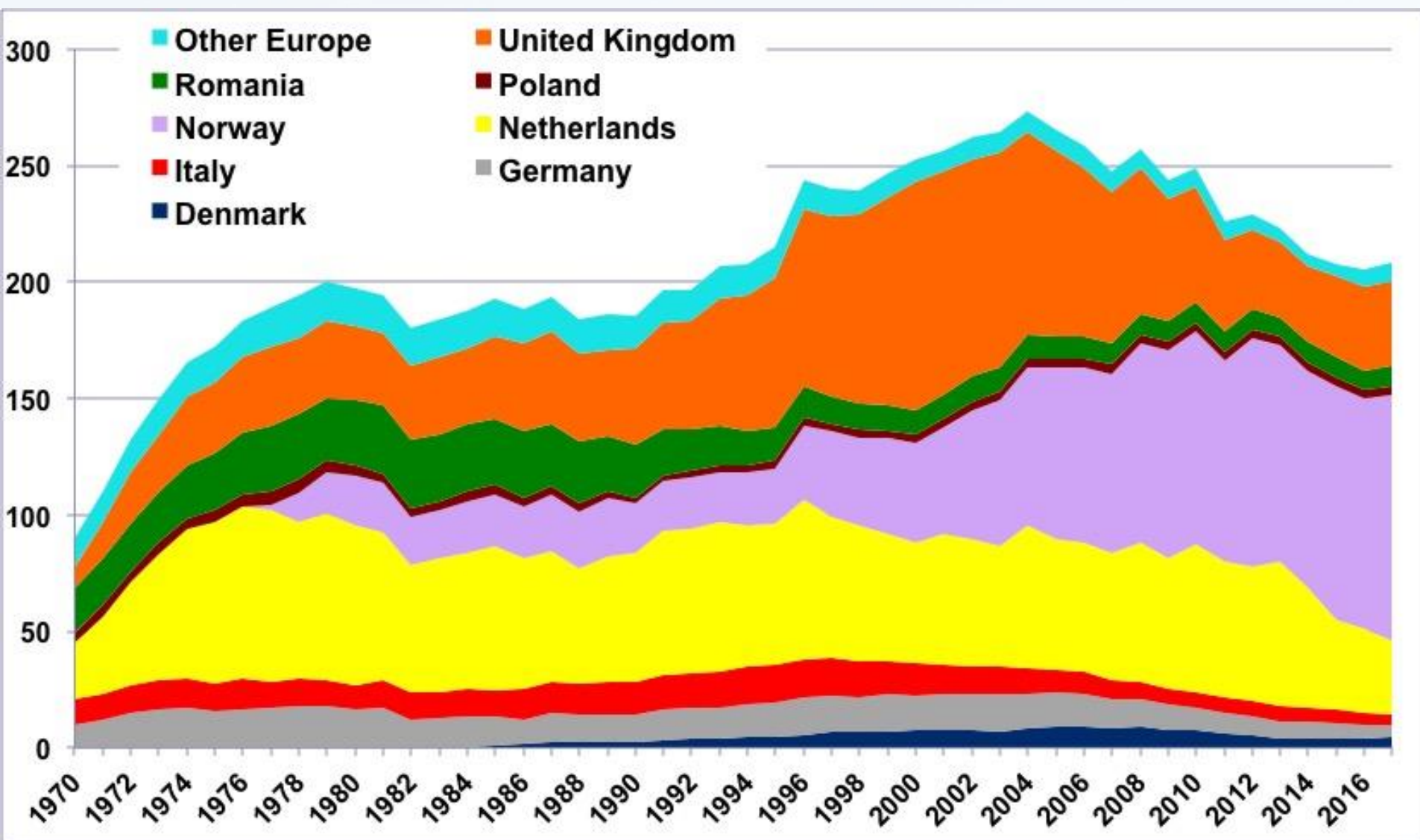
Simulation of gas production for Total, 2011

Gaz à tous les étages ?

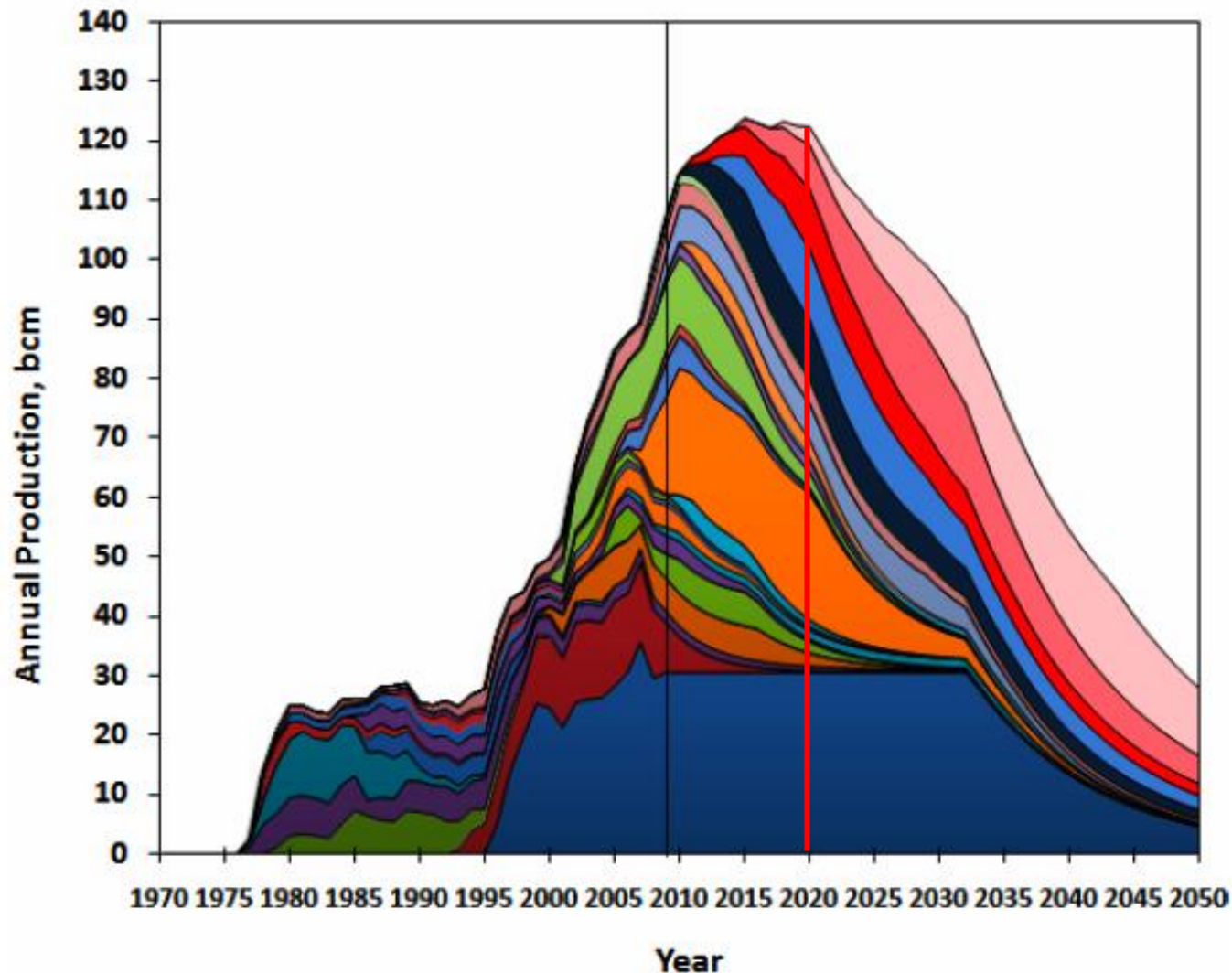


Evolution de l'approvisionnement en gaz UE+Norvège, en millions de tonnes équivalent pétrole par an, depuis 1965. Source Jancovici sur données BP Statistical Review, 2015

Tout le monde ne pique pas en même temps



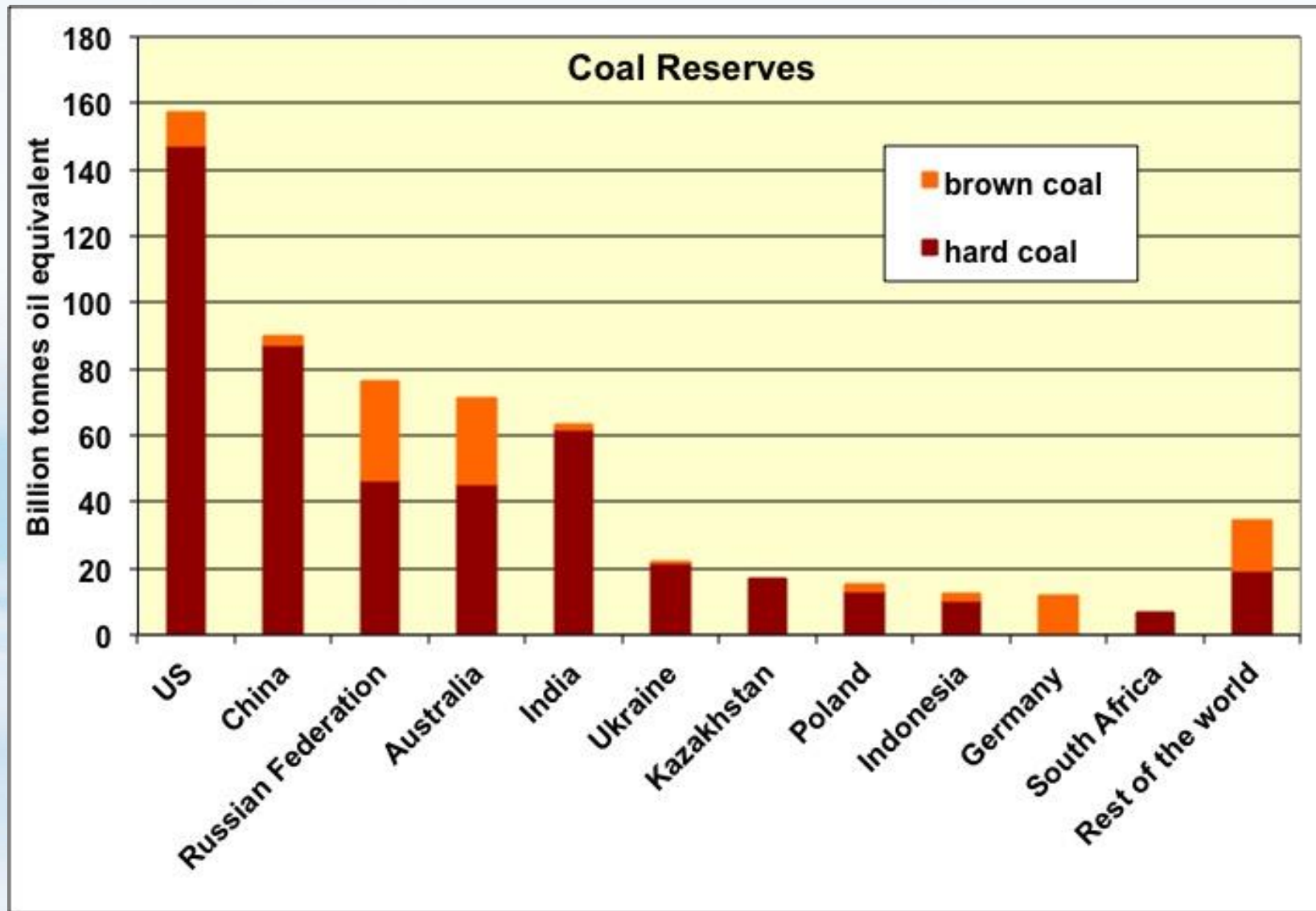
Production de gaz en Europe, par pays, en millions de tonnes équivalent pétrole par an. Source BP Statistical Review, 2018



Production de gaz en Norvège, incluant le reste à découvrir ou réévaluer.

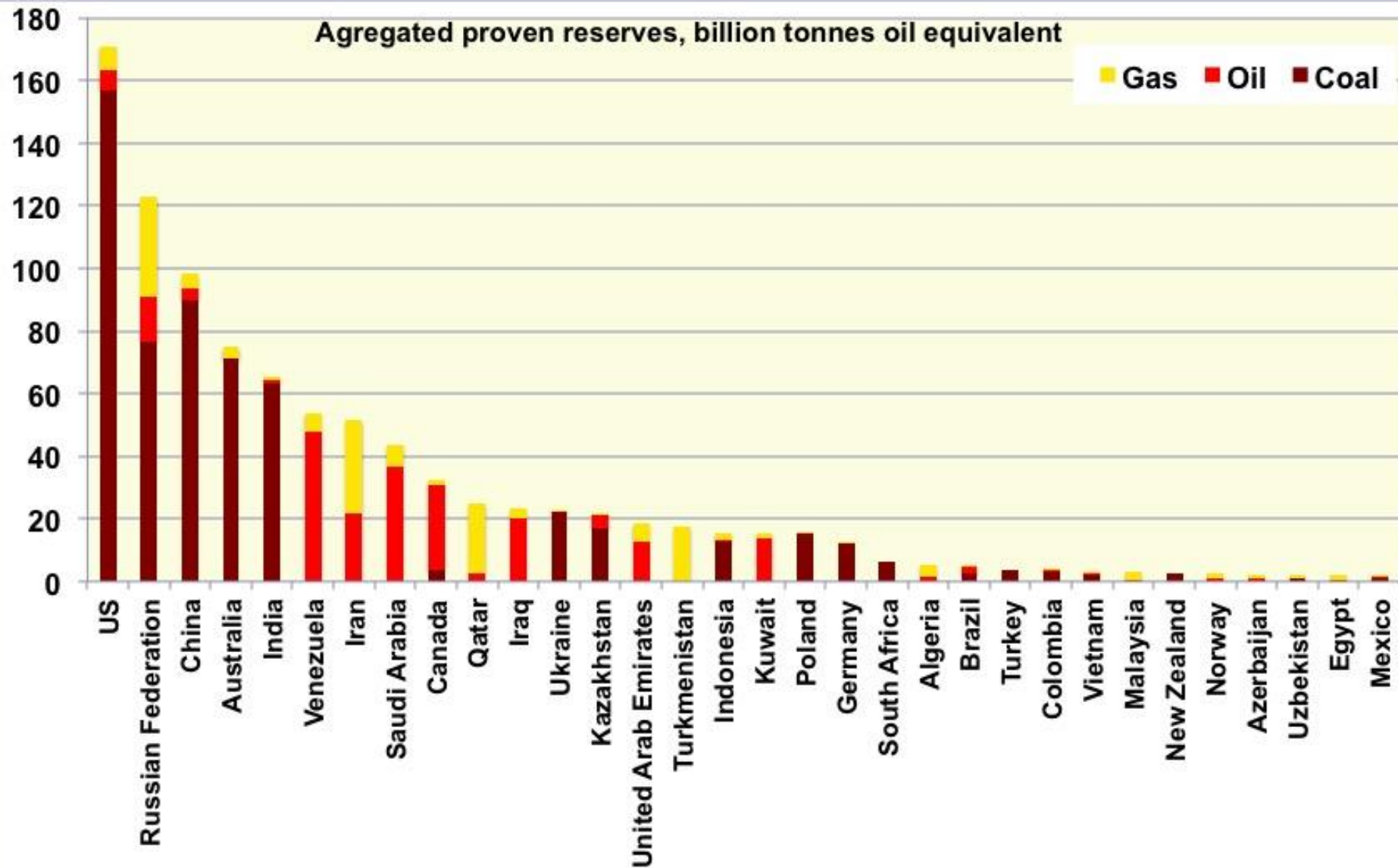
Source Söderbergh, B., et al., European energy security: The future of Norwegian natural gas. Energy Policy (2009)

Le problème se complique encore !



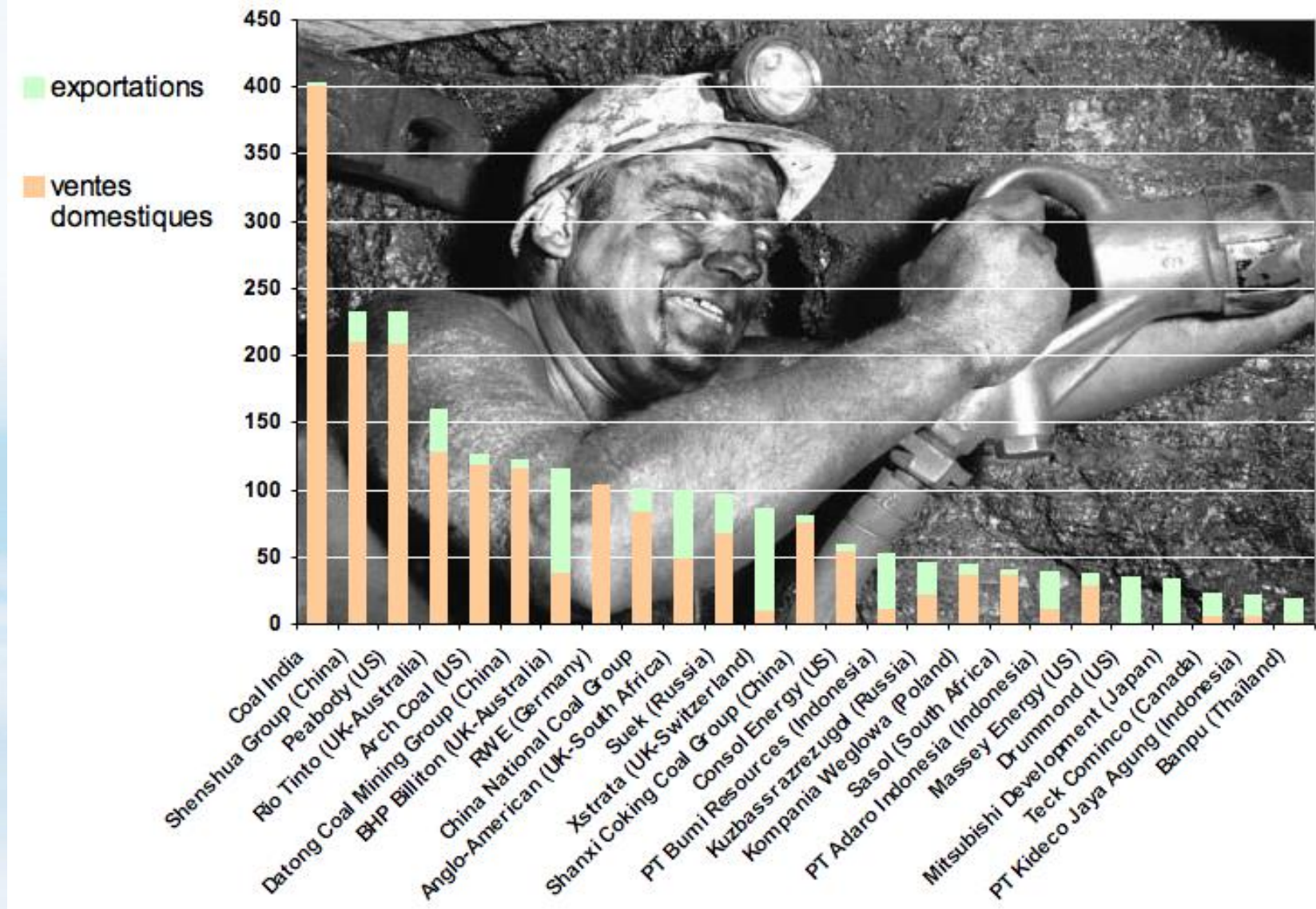
Réserves de charbon par pays, en milliards de tonnes équivalent pétrole (BP Statistical Review, 2018). 10 pays possèdent plus de 90% du charbon mondial !

Et qui arrive en tête des réserves de carbone?



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

Le charbon, une énergie surtout pour « chez soi »

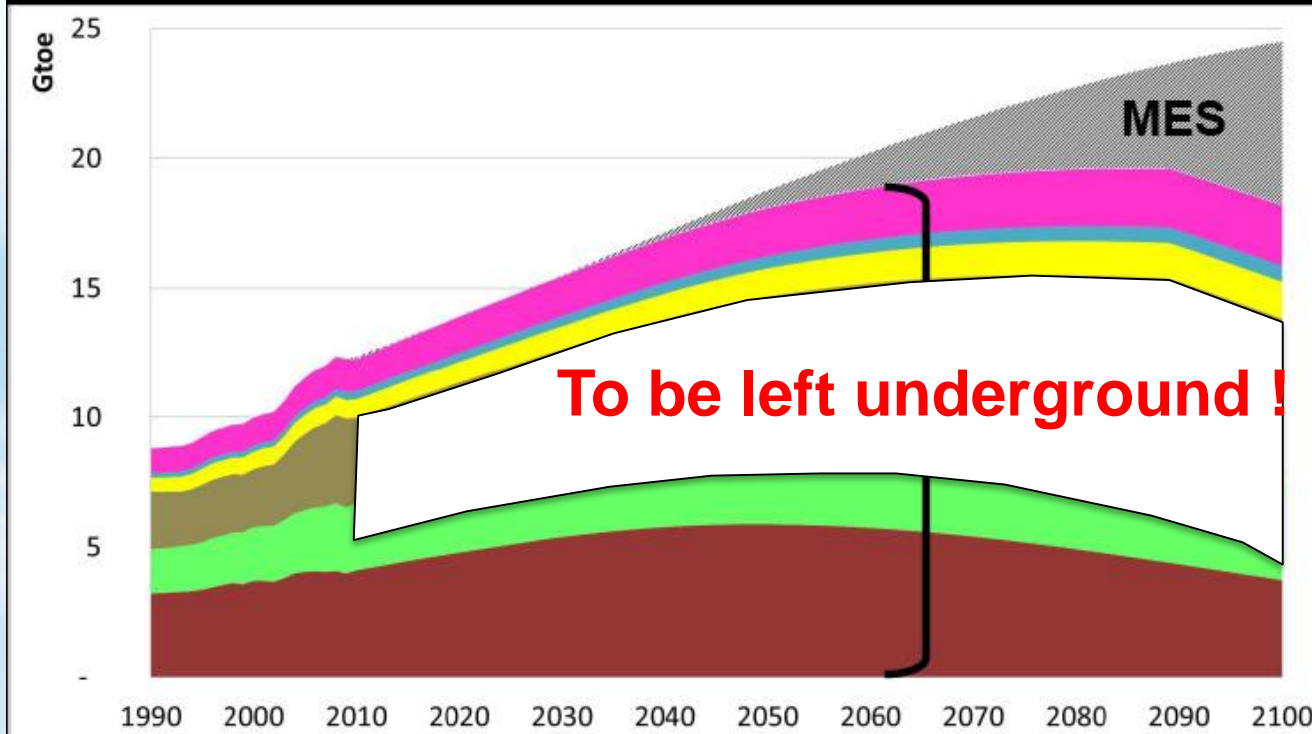


Production des 25 premières sociétés mondiales (total = 35% de la production mondiale).

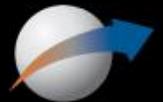
Source AIE, World Energy Outlook, 2009

Let's pile everything up

Induced Primary Energy Demand VS Primary Energy Supply



MES = Missing Energy Supply (energy gap) = Mess !



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